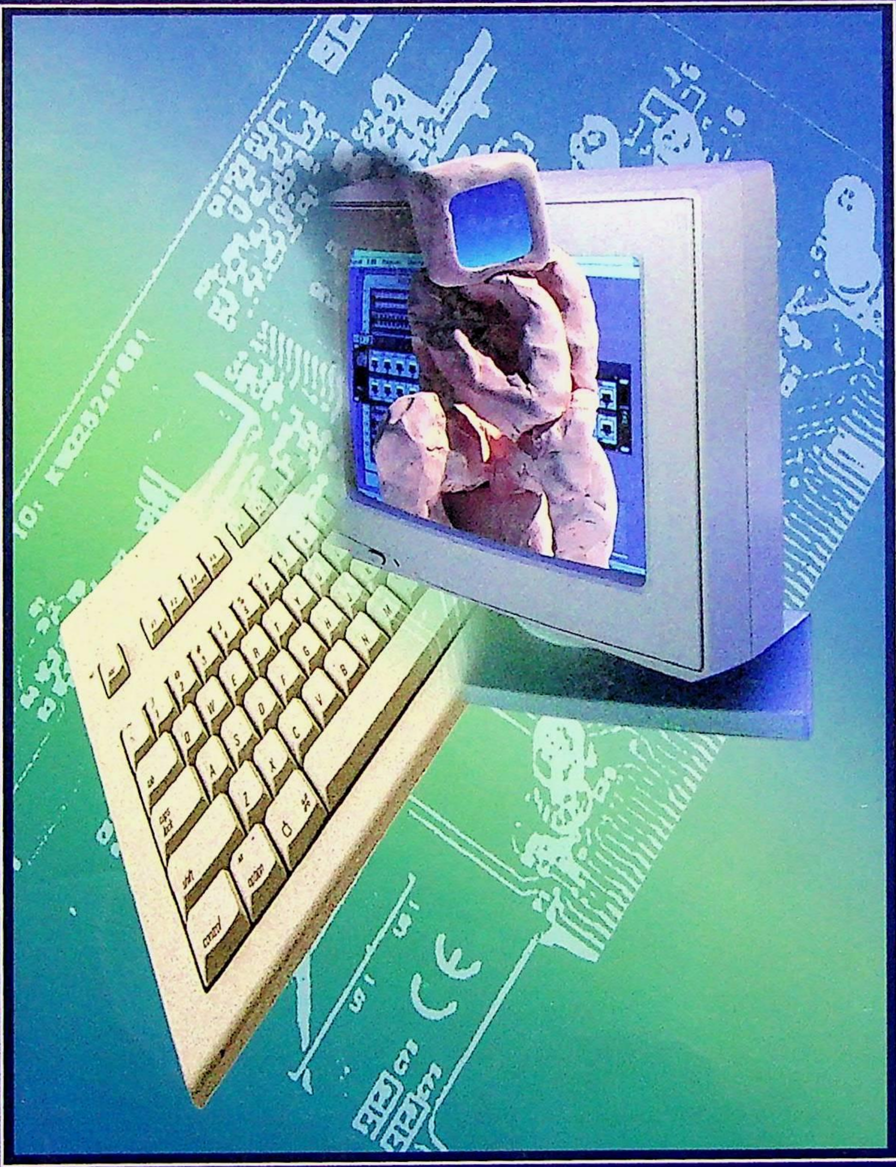
תקשורת ומחשוב



צבי שחם

בינת
תקשורת מחשבים בע"מ

מוקדש באהבה לאשתי יהודית

ולילדי - איילת ואורי, נועה וסער, ועמוס

תקשורת ומחשוב

צבי שחם M.Sc.

תקשורת מחשבים בע"מ

אוגוסט 1997

שמות מסחריים

שמות המוצרים והשירותים המוזכרים בספר הינם שמות מסחריים רשומים של החברות שלהם. המחבר עשה כמיטב יכולתו למסור מידע אודות השמות המסחריים המוזכרים בספר זה ולציין את שמות החברות, המוצרים והשירותים. שמות מסחריים רשומים (registered trademarks) המוזכרים בספר צוינו בהתאמה.

לשם שטף הקריאה כתוב ספר זה בלשון זכר בלבד. ספר זה מיועד לגברים ונשים כאחד ואין בכוונתנו להפלות או לפגוע בציבור המשתמשים/ות.

בינת

תקשורת מחשבים בע"מ

טלפון: 03-645080

עיצוב והפקה: "צוות הפקות גרפיות"

תוכן

פרק ה' - מיתוג מנות

פרק ו' - מיתוג מסגרות

פרק ז' - ISDN

<u>פרק י"ב - אתרנט</u>

<u>פרק י"ג - טבעת אסימון (TOKEN RING)</u>

פרק י"ד - FDDI

פרק ט"ו - תקשורת בסיבים אופטיים

פרק ט"ז - חיבור בין רשתות (Internetworking)

פרק י"ז - רשתות ממותגות (Switched LANs)

<u>פרק י"ח - ATM</u>

<u>פרק י"ט - רשתות אופטיות סינכרוניות (SONET/SDH)</u>

פרק כ' - רשת האינטרנט

אינדקס

ביבליוגרפיה

הקדמה

מערכות התקשורת והמחשוב הן כיום הדלק המניע את גלגלי המשק, התעשייה והכלכלה. בכל ארגון אפשר לראות מחשבי PC המחוברים לרשת, ומריצים יישומי ניהול, ייצור, הנה"ח, רכש וכו'. סניפים מרוחקים מקושרים למרכז ויוצרים רשת ארגונית גדולה, ומשתמשי מחלקות שונות מחוברים ב"רשתות וירטואליות", ללא קשר למיקומם הפיזי. עבודה מהבית גם היא הפכה למקובלת, תוך שימוש במודמים מהירים או קווי ISDN.

רשת התקשורת הפכה למרכז מערכת המידע, והתלות בה היא קריטית לפעילות הארגון. כמות המחשבים והציוד ההקפי המחובר לרשת עולה בהתמדה, ונפח המידע העובר גדל בצורה תלולה. הרשת מגיעה לסף היכולת שלה וטכנולוגיות חדשות מופיעות: אתרנט ממותג, אתרנט מהיר, גיגה-אתרנט, מיתוג IP ו-ATM.

גם הרשתות המרחביות עוברות שינויים משמעותיים, עם הפיכתן לסיפרתיות מקצה לקצה, והפעלת טכנולוגיות חדשות כמו מיתוג מסגרות, ISDN ו-ATM. הסיבים האופטיים הופכים לתשתית הסטנדרטית בין אתרים מרוחקים, וכמויות גדולות של מידע מועברות עליהם בטכנולוגיות חדשניות של SDH ו-WDM. מערכות מיקרוגל, לויינים, טלויזיה בכבלים, תקשורת סלולרית ו-GSM כובשות אף הן את מקומן בנתח הטלקומוניקציה העולמית והמקומית, והרשימה טרם נסתיימה.

רשת האינטרנט פרצה בסערה לכותרות, תחילה כרשת עולמית להעברת קבצים ודואר אלקטרוני, ובהמשך כבסיס נתונים ענק המכיל מידע גרפי וחזותי על כל מה שקיים תחת השמש. ההצלחה המסחררת של האינטרנט הביאה לפיתוח האינטרה-נט, המשתמשת בכלים דומים ליישומים פנים-ארגוניים, וגורמת למהפכה בתפישת המחשוב וניהול המידע.

זמן ההטמעה של הטכנולוגיות החדשות התקצר במשך השנים בצורה משמעותית, עקב הבגרות של שוק ה-PC ושוק התקשורת. לדוגמה: כדי להגיע לאוכלוסיה של 10 מיליון משתמשים בטלפון, חלפו 40 שנה. להגיע לאותה כמות של משתמשים "לקח" ל-PC תקופה של 7 שנים, ל-CD ROM "לקח" 4 שנים, אבל דפדפני האינטרנט "עשו זאת" בשנה אחת, וטכנולוגיית ה-JAVA תגיע לאוכלוסיה של 10 מיליון משתמשים ב-9 חודשים בלבד.

מהפיכת התקשורת לא פסחה על ישראל: בצד חברות תקשורת ותיקות (כדוגמת: תדיראן, טלרד ו-ECI), החלו לפעול חברות צעירות, שהשתלבו בנוף התקשורת העולמית: גילת, רד, לננט (כיום מאדג׳י), אורנט (סימנס), נייסקום (3COM), ציק פוינט, ווקאל-טק, והרבה חברות אחרות. לחבי ״בזק״, שהיתה מפעיל התקשורת היחיד בארץ עד לפני כ-10 שנים, הצטרפו חברות הכבלים, התקשורת הבינל״א, הטלפון הסלולרי וה-GSM. תהליך הדה-רגולציה, יימשך (כפי שקורה בכל העולם), ושירותים חדשים יוצעו למשתמשים, כגון: וידאו לפי דרישה, טלפוניה ואינטרנט על רשת הכבלים, שידורי טלויזיה סיפרתית, קליטת לוויינים ישירות בבתים, ועוד.

ספר זה מתאר את האבולוציה של מערכות התקשורת והמחשוב, החל מתקופת הטלפון ועד הטכנולוגיות העדכניות של ימינו. השתדלתי להציג את החומר בצורה ברורה ומובנת, וכללתי שפע של ציורים עם כיתוביות בעברית. אינדקס אנגלי מפורט מתוכנן לעזור לקורא המבקש ללבן מושג טכני מסויים, וכן יש המלצות ביבליוגרפיות (ספרים ואתרי אינטרנט) לאלה המבקשים להרחיב דעת.

הרבה עמיתים סייעו בידי בהפקת הספר, ולכולם נתונה תודתי. ראשית, לדפנה דוד - על ההפקה והעיצוב, אתי שני - הכנת השרטוטים, וחנה דבורה - הקלדת החומר בסבלנות רבה. שנית, לאנשי ״בינת״ שקראו פרקים מהספר והערותיהם תרמו לשיפורו: אמנון פטשק, שמואל הבר, אבי מרום, משה גליקשטיין ומיכאל שיטרית. שרות מסור ודומה קיבלתי גם מנתי פרי (חבי ״ברק״) ולואי פרידמן (יועץ תקשורת). תודתי נתונה גם לאנשי ״צוות הפקות גרפיות״ שטרחו רבות על העימוד, העיצוב והביצוע. ולבסוף, למנכ״ל בינת י. צנקל, שללא עידודו ותמיכתו ספר זה לא היה יוצא לאור.

אשמח לקבל מהקוראים הערות מכל סוג שהוא, ולהשתמע בספר הבא.

יולי 1997 **צבי שחם**

פרק א' - מבוא לתקשורת

1. תקשורת - יותר מהר, יותר רחב, יותר משולב

האם הכותרת לעיל מזכירה לנו משהו?

נכון, מערכות התקשורת המודרניות "שוברות שיאים", כמו באולימפיאדה ואולי אף יותר. רוצים דוגמא ? בבקשה: קצב העבודה המקובל והנפוץ למודמים בתחילת שנת 1995 היה 14.4 קסל"ש. אולם כיום (בשנת 1997) הוא 33.6 קסל"ש, כלומר יותר מכפול ממה שניתן להשיג בתחילת 1995, וכבר מדברים על מודמים בקצב 56 קסל"ש. ראיתם שיא אולימפי, אשר משתפר פי 2 ב"מכה אחת"? בודאי לא ! אבל בתקשורת - זה אפשרי.

דוגמה נוספת ? כבלי תקשורת לא מסוככים (UTP) מנוצלים היום לרוב ברשתות מקומיות (LAN) לעבודה בקצבים של 10 מסל"ש (אתרנט), או 16 מסל"ש (טבעת אסימון). לאחרונה החלו להופיע בשוק מוצרים המאפשרים עבודה בקצב של 155 מסל"ש על כבלי תקשורת UTP (בטכנולוגיית ATM), כלומר קפיצת הדרך הינה פי 10 מטכנולוגיית הדור הנוכחי.

בספר זה נתאר את האבולוציה של מערכות התקשורת ונעקוב אחר המעבר ההדרגתי שלהן לרשתות רחבות-סרט (Broadband Networks), שאמור להתרחש עוד בעשור הנוכחי. ננסה לעשות סדר ב"זימזומילים" (Buzzwords) כגון Frame Relay, SDH, ATM, SMDS, B-ISDN, וכו', המרבים לאחרונה להופיע בספרות המקצועית, אך נתחיל מבראשית.

2. מקורות מידע

אנו נמצאים כעת בתקופה הנקראת **"עידן המידע"** (Information Age), וזאת לאחר שהמין האנושי עבר את התקופה החקלאית והתקופה התעשייתית שלו. כל אחת מתקופות אלו התאפיינה בפריצת דרך טכנולוגית מסוימת, ששינתה את דפוסי החיים, הכלכלה והמסחר של כל בני האדם.

"תקופת המידע" החלה עם ההתפתחות בטכנולוגיית המחשבים (בשנות החמישים ואילך), המשיכה עם מהפיכת ה-PC והרשתות המקומיות (LAN) וכנראה תגיע לשיא נוסף בשנות ה-2000, כאשר רשתות ATM תופעלנה בקנה מידה נרחב ותאפשרנה העברה ספרתית של כל סוגי המידע (דיבור, נתונים ווידיאו) בצורה מהירה ויעילה.

כל אחד מאיתנו זקוק למידע, בין אם הוא נמצא בבית, במשרד, בבנק או בכל מקום אחר. המידע הפך למצרך מבוקש - למשפחה, לקהילה העסקית ולחברה כולה. המחשב, שאך לפני שני עשורים נחשב

למכונה מסתורית בעיני רוב האנשים, הפך לכלי עבודה הכרחי. תפוצת המחשבים האישיים (PC) עלתה בצורה מסחררת, והדור הצעיר נחשף ליכולתם כבר בגיל צעיר מאוד. המחשבים שינו באופן דרמטי את אורח חיינו והם נושאי הדגל של עידן המידע.

המושג "מידע" (Information) מוגדר כ"**אוסף נתונים בעלי משמעות**". המידע יכול להופיע בצורות שונות:

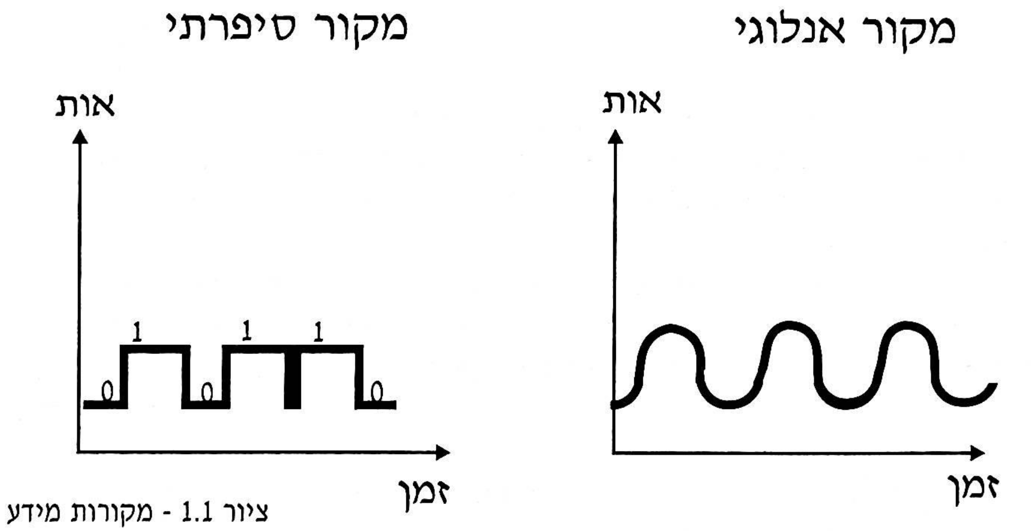
- **מידע קולי:** טלפון, רדיו, הרצאה
- **מידע מודפס (טקסט):** מכתב, ספר
- **מידע גרפי:** ציור, פקס
- **מידע ויזואלי:** טלוויזיה, וידיאו, קולנוע
- **מידע אלקטרוני:** קובץ נתונים, דיסקט, CD-ROM

"**מקורות מידע**" הם אותם אלמנטים המסוגלים להפיק ולקלוט מידע בעזרת אמצעי הקלט/ פלט שלהם. אמצעי הקלט/ פלט של האדם הם כמובן החושים, שכל אחד מהם מאפשר לקלוט סוג אחר של מידע. אמצעי הקלט/ פלט של המחשבים הם המסך, המקלדת, המדפסת, קו התקשורת וכו'.

הערה: המילה "*מקור*" מתארת בדרך-כלל אלמנט המסוגל רק **לשדר** מידע. בהקשר של פרק זה "**מקור מידע**" מסוגל **לשדר וגם לקלוט** מידע.

מקורות המידע נחלקים לשני סוגים (ראה ציור 1.1):

- מקורות מידע **אנלוגיים**
- מקורות מידע **ספרתיים**



ציור 1.1 - מקורות מידע

מקורות **אנלוגיים** מפיקים מידע המורכב מאוסף של צלילים היכולים להופיע בתדרים שונים. כדוגמה, הקולן שבעזרתו מכוונים כלים מוסיקליים מפיק תמיד צליל קבוע ("לה"). גובה הצליל נמדד ביחידה הנקראת "הרץ" (Hertz), ובהתאם לכך הצליל של הקולן הוא 440 הרץ. צליל הגבוה ממנו באוקטבה שלמה הוא 880 הרץ (פי 2). המושג **"רוחב-סרט"** של מקור אנלוגי מתייחס לאוסף הצלילים שהמקור מסוגל להפיק, והוא ההפרש בין התדר הגבוה לתדר הנמוך. כלי מוסיקלי דמיוני המפיק אוקטבה בודדת, הוא בעל רוחב-סרט של 440-880 הרץ. לעומת זאת הפסנתר מסוגל להפיק צלילים החל מ- 30 הרץ ועד 4200 הרץ, ולכן אנו אומרים שיש לו רוחב סרט של 4200 -30 הרץ.

(**תרגיל**: הוכח בעזרת הנתונים לעיל כי לפסנתר יש כ- 7 אוקטבות).

האדם משמש אף הוא כמקור מידע אנלוגי. יכולת השמיעה שלו היא בתחום של 40 עד 18,000 הרץ ויכולת הדיבור היא בתחום מצומצם יותר של 100 עד כ- 10,000 הרץ. אולם התחום שעד 4000 הרץ הוא המשמעותי ביותר לצורך הבנת הדיבור, ולכן זהו התחום המנוצל בטלפוניה.

להלן רוחבי - סרט של כמה מקורות מידע אנלוגיים טיפוסיים:

- **מערכת סטריאופונית** - 20 קה"צ (1 קה"צ = 1,000 הרץ)
- **דיבור** - 10 קה"צ
- **טלפון** - 4 קה"צ (3.1 קה"צ באופן מעשי)
- **פקס** - 4 קה"צ (כמו טלפון)
- **טלוויזיה** - 5 מה"צ (1 מה"צ = 1,000,000 הרץ)

הערה: לרוב, משמיטים את התדר הנמוך של רוחב-הסרט ומציינים רק את התדר הגבוה.

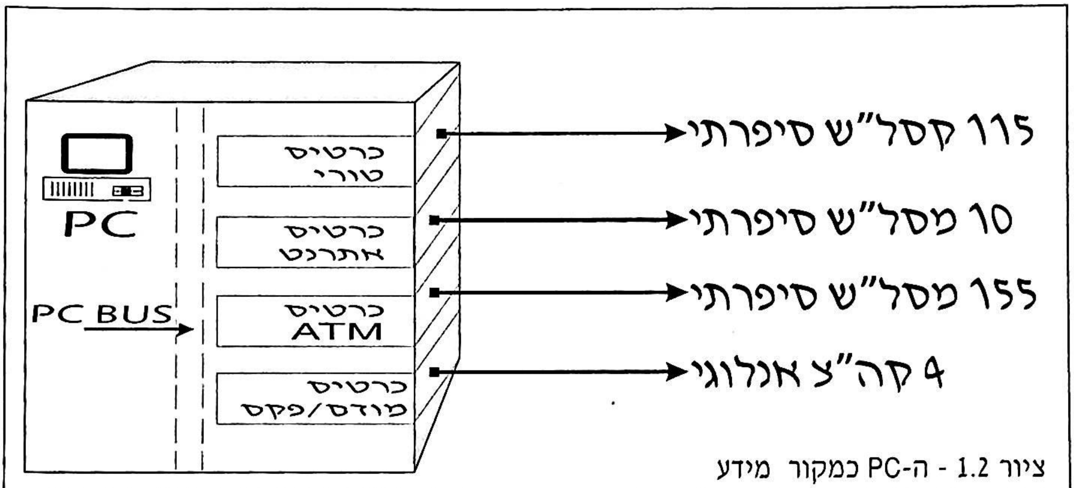
מקורות **ספרתיים** מפיקים מידע המשודר בצורת ספרות בינאריות (בעברית: סיביות, באנגלית: bits). סיפרה בינארית יכולה להיות "0" או "1" ולכן אם מחברים מכשיר מדידה במוצא של מקור סיפרתי, מתקבלת הצורה המלבנית המתוארת בציור 1.1.

רוחב הסרט של מקורות סיפרתיים נמדד בקצב שידור של **סיביות לשניה** (סל"ש או bps), **קסל"ש** (Kbps), או **מסל"ש** (Mbps). גם כאן המושגים "קילו" ו"מגה" מתייחסים להכפלה של אלף או מיליון, בהתאמה.

להלן רוחבי - סרט של מקורות מידע ספרתיים:

- **מחשב PC (פנטיום)** - 115 קסל"ש (Kbps)
- **PC עם כרטיס אתרנט** - 10 מסל"ש (Mbps)
- **PC עם כרטיס TR** - 16 מסל"ש (Mbps)
- **PC עם כרטיס ATM** - 155 מסל"ש (Mbps)

כאן המקום להעיר כי מחשב ה-PC, שהוא מקור המידע הספרתי הנפוץ ביותר, אינו בעל רוחב- סרט קבוע. ה- PC מסופק עם חריצים (slots) שלתוכם ניתן להתקין כרטיסי הרחבה שונים, ובהתאם לכך



ציור 1.2 - ה-PC כמקור מידע

נקבע רוחב הסרט. ה- **PC** הרגיל (פנטיום) מסופק עם כרטיס טורי המסוגל להפיק כ-115 קסל"ש. אבל ניתן להתקין בו כרטיסי רשת נוספים שונים ולהגיע לקצבים מאד גבוהים (ראה ציור 1.2).

אפשר להתקין ב- **PC** גם כרטיס מודם/פקס ואז ייראה כלפי חוץ כמקור מידע אנלוגי בעל רוחב-סרט של 4 קה"צ. מכשיר פקס (פקסימיליה) רגיל מהווה דוגמה מעניינת: מנגנון הסקירה שבתוכו מפיק סיבית "0" בכל פעם שהוא חולף על אלמנט לבן, וסיבית "1" כשהוא חולף על אלמנט שחור (חומר כתוב או מודפס). לכן מכשיר הפקס כשלעצמו הוא מקור מידע סיפרתי, המסוגל לשדר רצף של סיביות. אולם, כדי לאפשר למכונות הפקס להתקשר ביניהן על רשת הטלפון, התקינו בתוכן מודם, ואז מכשיר הפקס נראה מבחוץ כמקור מידע אנלוגי (דמוי טלפון).

3. רשתות תקשורת

לאחר שהבנו מהו מידע ומהם מקורות המידע, נעבור להגדרת המושג "**תקשורת**":

תקשורת היא הטכנולוגיה המטפלת בהעברת מידע בין מקורות המידע.

נניח, לדוגמה, שהמקור **A** רוצה להתקשר למקור **B**:



התנאים ליצירת תקשורת הם:

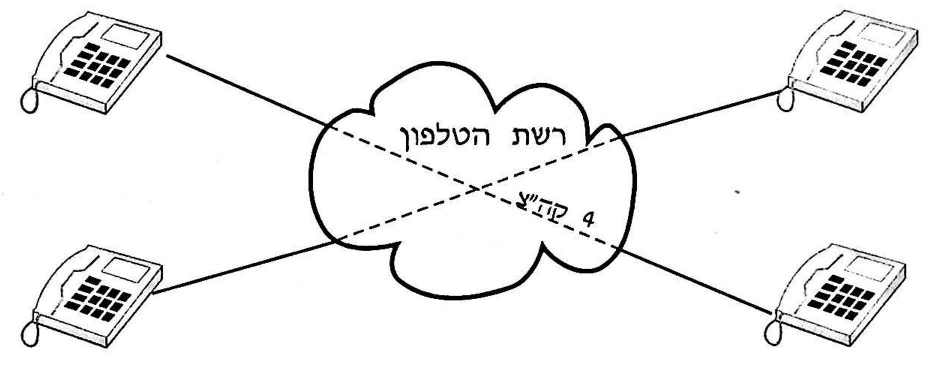
- מקורות המידע צריכים להיות **תואמים** (אנלוגיים או ספרתיים) ובעלי **אותו רוחב-סרט** (קצב העברה).
- אפיק התקשורת צריך להיות **תואם** למקורות המידע (מבחינת הסוג ורוחב הסרט).
- המקורות חייבים לדבר באותה **שפה** (במונחי תקשורת קוראים לזה "**פרוטוקול**").

אם שלושת התנאים הנ"ל מתקיימים, אז ורק אז תיווצר תקשורת בין המקורות A ו- B. ברור מכאן שטכנולוגיית התקשורת צריכה לספק אפיקים אנלוגיים עבור מקורות המידע האנלוגיים, ואפיקים ספרתיים עבור מקורות המידע הספרתיים.

"רשת תקשורת" (או מערכת תקשורת) היא אוסף של הרבה אפיקים העומדים לרשות המשתמשים (מקורות המידע). רשתות תקשורת ניתן לסווג בשתי צורות:

- לפי הטכנולוגיה - רשתות אנלוגיות או ספרתיות
- לפי סוג השרות - אפיקים קבועים או ממותגים (אפיק ממותג הוא אפיק המוקצה למשך השיחה בלבד).

הציור הידוע של "ענן" מתאר בדרך כלל רשת תקשורת שכל אפיקיה הם מסוג מסוים והמספקת שרות מוגדר (לדוגמה: רשת הטלפון, רשת "סיפרנת", רשת אתרנט וכו'). ציור 1.3 מתאר את "ענן" רשת הטלפון, המספקת אפיקים ממותגים ברוחב סרט של 4 קה"צ בין כל זוג מנויים.



ציור 1.3 - רשת הטלפון כ"ענן"

בהתאם לסיווגים שתוארו לעיל ניתן לחלק את רשתות התקשורת לפי המטריצה הבאה:

	אפיקים ממותגים	**אפיקים קבועים**
רשתות אנלוגיות	**טלפון "פלאפון"**	**רדיו טלוויזיה בכבלים**
רשתות סיפרתיות	**"ישראנת" ISDN**	**"סיפרנת" ("ישראנת")**

על רשת הטלפון נדבר בהרחבה בהמשך פרק זה. להלן תיאור קצר של הרשתות הנפוצות האחרות:

רשת **"סיפרנת"** היא דוגמה לרשת סיפרתית בעלת אפיקים קבועים: הרשת מספקת קווים קבועים בקצבים שהוזמנו (לדוגמה 64 קסל"ש, 128 קסל"ש וכו') בין נקודות שונות בארץ. לקווים אלה ניתן

לחבר מקורות מידע הפועלים בקצבים 128/64 קסל״ש, כדוגמת נתבים (Routers), מרבבי נתונים, מרבבים משולבים דיבור/ נתונים וכו׳.

רשת **״ישראנת״** היא דוגמה לרשת ספרתית המספקת אפיקים ממותגים, כלומר אפיקים לתקופה קצרה, שבה המנוי משלם לפי זמן החיבור או לפי כמות המידע שהועברה, או קומבינציה כלשהי של שניהם. רשת ״ישראנת״ פועלת בפרוטוקולים X.25 ו-Frame Relay שאותם נכיר בהמשך, ומסוגלת לספק אפיקים ספרתיים בקצבים מ- 2400 סל״ש ועד 64,000 סל״ש (64 קסל״ש). הרשת יכולה לספק גם אפיקים ״כאילו״ קבועים, שבהם המידע זורם במסלולים מוגדרים מראש, ובקצבים גבוהים יותר, ולכן ״ישראנת״ מופיעה בטבלה גם בקטיגוריה של אפיקים קבועים.

רשת ISDN היא הרחבת רשת הטלפון לשירותים משולבים של דיבור ונתונים. כל קו ISDN הוא שווה-ערך ל-2 קווי טלפון, 2 קווים סיפרתיים בקצב של 64 קסל״ש כל-אחד, או קו סיפרתי אחד הפועל בקצב של 128 קסל״ש. שרותי ISDN ניתנים בחיוג ולכן האפיקים הם ממותגים. על רשת ISDN ותכונותיה נרחיב את הדיבור בפרק מיוחד בהמשך.

4. רשת הטלפון

רשת הטלפון היא הרשת הנפוצה והזמינה ביותר. במקורה זוהי רשת אנלוגית המספקת אפיקים בעלי רוחב-סרט של 4 קה״צ (3.1 קה״צ באופן מעשי). פרוש הדבר שבכל שיחת טלפון, בין כל שני מנויים הנמצאים במקומות שונים בעולם, קיים אפיק תקשורת אנלוגי בעל רוחב-סרט של 4 קה״צ. אפיק זה קיים רק למשך השיחה ובסיום השיחה הוא מתנתק - ולכן קוראים לו **״אפיק ממותג״**. המושג **״מיתוג״** בתקשורת מבטא קשר לזמן קצר, וזאת בניגוד למושג **נל״ן** (נקודה לנקודה) המבטא אפיק המחובר קבוע בין שתי נקודות. רשת הטלוויזיה בכבלים היא רשת אנלוגית בעלת אפיקים קבועים, שכן המידע הזורם בה הוא אנלוגי והאפיקים מחוברים באופן קבוע.

שיחת הטלפון הראשונה בעולם הודגמה בשנת 1876 ע״י גרהם בל, ושימשה נקודת מפנה בתקשורת האנושית. קשה לתאר את חיינו ללא הטלפון, אותו מכשיר קטן הנמצא בכל בית, ומאפשר להתקשר לכל טלפון אחר בעולם.

המרכיבים העיקריים של רשת הטלפון הם (ראה ציור 1.4):

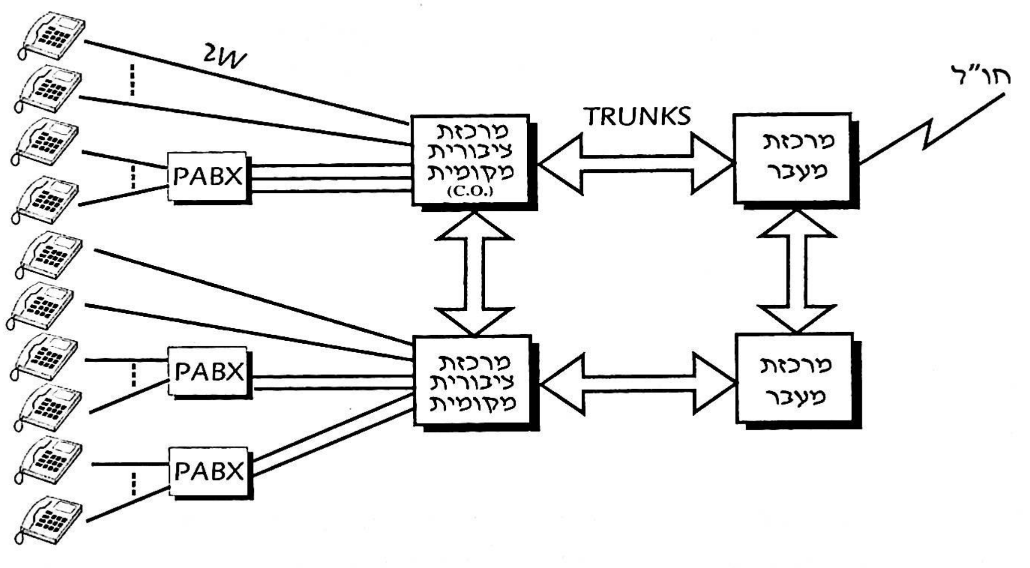
- מכשיר הטלפון בבית המנוי, המורכב ממיקרופון, אוזניה, ואמצעי איתות (חוגה, או לחיצים).
- קו טלפון המקשר את בית המנוי עם המרכזת הציבורית המקומית (C.O. - Central Office). קו זה מורכב מזוג גידים לא מסוככים (בשפה טכנית: 2w), המצטרפים לכבל רב-גידי המסתיים במרכזת. קו זה מנוצל אך ורק בשעה שמתקיימת שיחה, וגם אז רק בחלק קטן מהקיבול (רוחב-סרט) שלו.
- מרכזות טלפון ציבוריות מקומיות המבצעות ניתובים בין קווי מנויים (המחוברים לאותה מרכזת), או בין קו-מנוי לאחד מאפיקי התמסורת (קו חוץ).

■ אפיקי תמסורת המחברים בין המרכזות (Trunks) ומשמשים כ״צינורות״ להעברת השיחות. תווך (מדיום) התמסורת יכול להיות פיזי (כגון: כבל קואקסיאלי או סיב אופטי), או אלחוטי (עורק מיקרוגל או לווין). שיחות הטלפון עוברות בתווך בצורה מרובבת, כלומר, מספר רב של שיחות עוברות במקביל באותו התווך.

■ במשרדים גדולים מותקנות מרכזות פרטיות (PABX= Private Automatic Branch Exchange) המאפשרות שיחות מקומיות, או קשר החוצה באמצעות רשת המרכזות הציבוריות.

■ מרכזות המעבר (הנקראות Inter Exchange או Tandem Exchange) משמשות לתקשורת בין- עירונית, או בין-ארצית. שיחת טלפון מקומית בעיר יכולה להתקיים באמצעות מרכזת ציבורית מקומית אחת או שתי מרכזות ציבוריות מקומיות (C.O.) המחוברות ישירות. אולם שיחת טלפון בין עירונית תנותב דרך מרכזות מעבר.

ציור 1.4 מציג את רשת הטלפון ומרכיביה:



ציור 1.4 - מרכיבי רשת הטלפון

רשת הטלפון פועלת בשיטת מיתוג מעגלים (Circuit Switching) שבה מוקצה מסלול (אפיק) תקשורת מקצה לקצה לכל משך קיום השיחה. פירוש הדבר, שבכל שיחת טלפון בין כל שני מנויים ברחבי העולם נוצר אפיק תקשורת בעל רוחב-סרט של 4 קה״צ. רוחב-סרט זה מהווה פשרה בין הרצון להגדיל את רוחב-הסרט לצורך שיפור האיכות, לבין הדרישה להקטינו כדי לאפשר יותר שיחות בתווך נתון. הנסיון הוכיח כי 4 קה״צ מספיקים בהחלט לצורך תקשורת דיבור, אך מהווים מגבלה רצינית בתקשורת נתונים.

5. תהליך ההתקשרות ברשת הטלפון

תהליך ההתקשרות ברשת הטלפון מהווה דוגמה ל"פרוטוקול" תקשורת, כלומר דו-שיח בין שני אלמנטים (המנוי והמרכזת במקרה זה):

- **המנוי היוזם** מרים את שפופרת הטלפון, וסוגר מעגל חשמלי (המתח מסופק ע"י המרכזת).
- הזרם העובר בקו מתגלה ע"י **המרכזת**, וזו שולחת צליל חיוג (אישור על גילוי בקשת השירות).
- אחר שמיעת צליל החיוג **המנוי** מחייג את המספר המבוקש. צליל החיוג נפסק לאחר הסיפרה הראשונה והמנוי מבין, שהמרכזת עברה למצב קליטת המספר.
- **המרכזת** יוצרת אפיק תקשורת בין שני המנויים, היכול לעבור דרך כמה מרכזות בדרך. בסיום יצירת האפיק שולחת המרכזת צלצול למנוי המבוקש, וצליל הנקרא Ring Back למנוי היוזם. אם המנוי הנקרא תפוס, שולחת המרכזת צליל "תפוס" למנוי היוזם.
- הרמת השפופרת ע"י **המנוי הנקרא** מתחילה את השיחה. הורדת השפופרת ע"י אחד משני המנויים מביאה לסיום הקשר.

רואים שהתהליך (הפרוטוקול) הוא דו-כיווני (פעולה/תגובה) ואם משהו משתבש - חוזרים להתחלה.

6. סיכום פרק א'

בפרק זה הכרנו את "מקורות המידע", שהם האלמנטים המפיקים וקולטים מידע. ראינו שהם נחלקים לשני סוגים: אנלוגיים וסיפרתיים, ולכל אחד מהם יש "רוחב-סרט" הנמדד בקה"צ או קסל"ש (בהתאמה).

מקורות המידע מחוברים ביניהם באמצעות "אפיקים", שגם הם אנלוגיים או סיפרתיים, וכך נוצרת ביניהם תקשורת. רשת תקשורת היא אוסף של הרבה אפיקים בעלי תכונות משותפות, ונהוג לציין זאת ע"י "ענן".

רשת הטלפון היא דוגמה ל"ענן" כזה, והיא מספקת אפיקים אנלוגיים ממותגים בעלי רוחב-סרט של 4 קה"צ (3.1 קה"צ באופן מעשי). כדי לקבל אפיק יש צורך לחייג תחילה את המספר הנדרש, ולאחר מכן כל המידע עובר באותו האפיק, עד לניתוק האפיק ע"י אחד המשתתפים.

סוג כזה של פעולה נקרא במינוח טכני Connection-Oriented (CO), ומשמעות הדבר שכל המידע עובר במסלול שהוגדר מראש. נראה בהמשך שיש רשתות מסוג אחר הנקראות Connectionless Oriented (CL) ובהן לא נקבע אפיק מסויים לצורך העברת המידע.

פרק ב' - מודמים

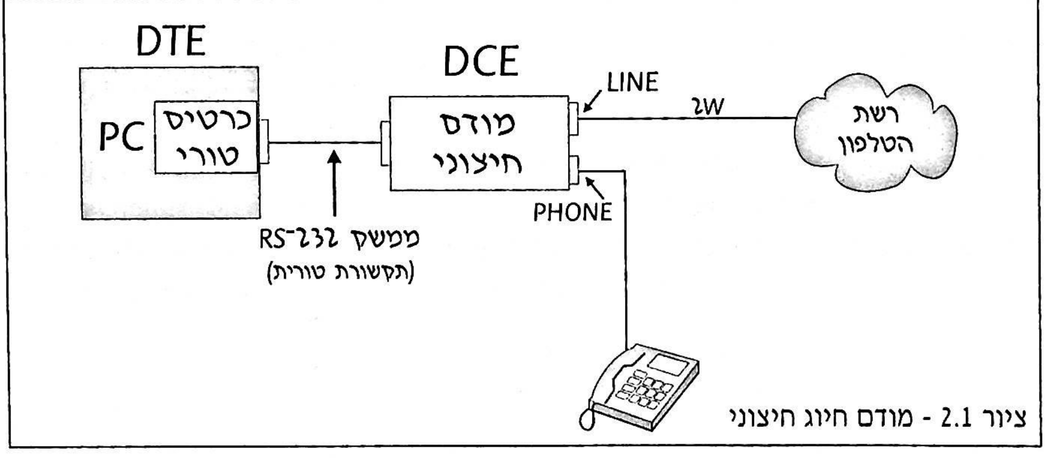
1. מודם חיוג

ראינו בפרק הקודם כי רשת הטלפון תוכננה במקורה כרשת אנלוגית לצורך העברת אותות דיבור. רשת זאת מורכבת ממרכזיות מסוגים שונים וכן קווי תמסורת שתוכננו ליצירת אפיקי תקשורת ממותגים בעלי רוחב-סרט של 4 קה"צ. למעשה רוחב-הסרט "נטו" של אפיק טלפון הוא 300 עד 3400 הרץ בלבד, והשוליים משני הצדדים משמשים להגנה, כך ששיחות לא תתערבבנה זו בזו.

מכשיר הטלפון מתוכנן אף הוא לרוחב-סרט זהה, והוא מחובר למרכזית הטלפון בעזרת זוג חוטים (הנקרא בשפה טכנית **2w**) למרחק של כמה ק"מ (ראה ציור 1.4).

ברור שאין אפשרות לחבר **PC**, שהוא מקור מידע סיפרתי, ישירות לרשת הטלפון שהיא רשת אנלוגית. לשם כך משתמשים במודם (**Modem**) המתרגם מידע סיפרתי לאות אנלוגי (ולהיפך). השם **Modem** הוא קיצור המילים **Modulator/Demodulator**, כלומר "אפנן" ו-"גלאי" - שתי התכונות הבסיסיות של המודם. המודם מקבל מה-**PC** את המידע הספרתי בצורת סיביות (**bits**), שהן אותות בעלי עוצמה קבועה המייצגים את הספרות "0" או "1". המודם הופך את הסיביות לאותות אנלוגיים בעלי רוחב סרט המתאים לקו הטלפון, כלומר 300 עד 3400 הרץ. בצורה כזאת משודרים האותות של המודם ברשת הטלפון, כאילו היו אותות טלפון אנלוגיים רגילים.

המודם יכול להיות חיצוני (**External**, או **Stand Alone**) או פנימי בצורת כרטיס המותקן בתוך ה- **PC** (**Internal**, או **PC Card**). מודם חיצוני מתחבר ל- **PC** ליציאה טורית מיוחדת בממשק הנקרא **EIA-232** (או בשמו הקודם **RS-232**). ממשק זה הוא תקני והוא מגדיר מחבר בעל 25 פינים (**DB-25**), שבו לכל פין יש תפקיד בתהליך התקשורת בין ה-**PC** לבין המודם. בצד האנלוגי יש למודם מחבר הנקרא **LINE** המתחבר בזוג חוטים (**2w**) לקו הטלפון (ראה ציור 2.1).



ציור 2.1 - מודם חיוג חיצוני

הערה: המושג DTE ‏(Data Terminal Equipment) מתייחס לציוד הקצה (מחשב, מרבב, מסוף וכו׳). המושג DCE ‏(Data Communications Equipment) מתייחס לציוד הרשת (מודם, מתג, רכזת וכו׳).

"ממשק" (Interface) הוא הקשר הפיזי הקיים בין שני אלמנטים שונים בתקשורת. הממשק מוגדר ע״י תקן מפורט (כגון: EIA-232, V.35, RS-530 וכו׳) שבו מוגדרים סוג המחבר (Connector), תפקידי הפינים השונים, רמות המתח, צורת התפקוד וכו׳. הממשק EIA-232 שהוזכר לעיל (הידוע גם בשם V.24) פועל בצורה **טורית**: הוא משדר את הסיביות אחת אחר השניה בפין מסויים במחבר, וקולט סיביות מהצד הנגדי בפין אחר.

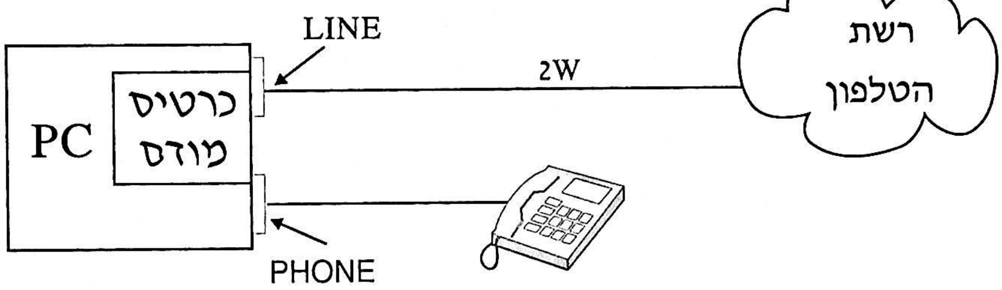
יש גם ממשקים הפועלים בצורה **מקבילית**: במחבר מוגדרים מספר פינים, המשדרים בו-זמנית, וכך בכל מחזור משודרות כמה סיביות בקבוצה. אם לדוגמה, מקצים 8 פינים במחבר לשידור, הרי ניתן לשדר בית (1 Byte = 8 סיביות) בכל מחזור, בניגוד לסיבית בודדת בכל מחזור המשודרת בממשק טורי. ברור שקצב השידור הוא גבוה יותר ולכן משתמשים בממשק מקבילי ביישומים הדורשים תקשורת מהירה. דוגמה לכך היא חיבור מדפסת ל-PC המבוצע בממשק מקבילי.

למודם יש מחבר נוסף הנקרא PHONE, שאליו מחברים מכשיר טלפון רגיל. כאשר המודם אינו פועל - ממסר פנימי מחבר את מכשיר הטלפון לקו ומאפשר להשתמש בטלפון כרגיל. כאשר המודם פועל - הממסר מנתק את מכשיר הטלפון, ואם מישהו מרים באקראי את מכשיר הטלפון הדבר לא ישבש את פעולת המודם.

מאחר וכלפי רשת הטלפון המודם חייב להתנהג כמכשיר טלפון לכל דבר, על המודם גם לדעת לחייג מספרי טלפון וכן לענות לשיחות המופנות אליו. פעולת החיוג במודם מתבצעת בדרך כלל ע״י ה- PC המחובר למודם, בפרוטוקול תקשורת מיוחד הנקרא AT Command Set. כדי לאפשר את פעולת החיוג קיימות תוכנות תקשורת מיוחדות המורצות על ה-PC (כגון: PROCOM, TELIX, TELEMATE וכו׳).

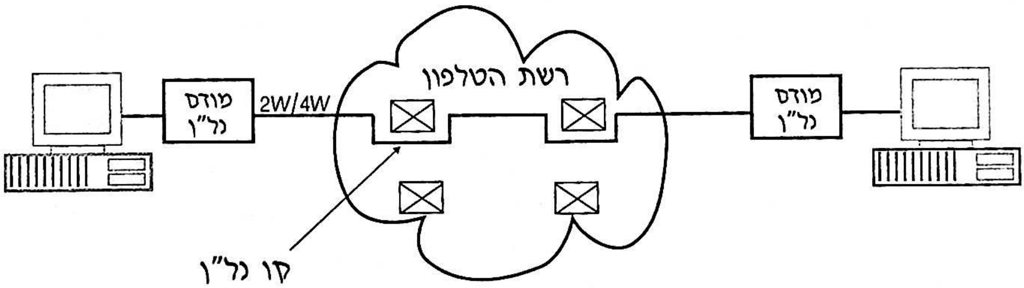
רוב המודמים המסופקים כיום מסוגלים גם לשלוח ולקבל פקס ישירות מה-PC. ברור שמשלוח הפקס מוגבל רק למידע המופיע על מסך ה-PC, והוא יכול להכיל טקסט או גרפיקה. בקליטת פקס, לעומת זאת, ניתן לקלוט גרפיקה ומידע שנוצרו ב-PC או במכונת פקס חיצונית, ולהציגו על מסך ה-PC. כדי לסייע ל-PC בשידורי פקס מספקים יחד עם המודם תוכנת פקס מיוחדת ל-DOS ול-WINDOWS (כדוגמת WINFAX, QUICKLINK, FAXWORKS וכו׳).

מודם/פקס יכול להיות גם פנימי ואז הוא מסופק ככרטיס PC בעל ממשק ISA BUS (ראה ציור 2.2). זהו ממשק PC טיפוסי הפועל ב-16 סיביות (כלומר המידע מועבר מה-PC למודם במנות של 16 סיביות), והמודם מתרגם לאות אנלוגי, בדיוק כמו מודם/פקס חיצוני. גם במקרה של מודם/פקס פנימי הוא מצויד בשני מחברים: LINE ו- PHONE שתפקידם זהה לזה של מודם חיצוני.



ציור 2.2 - מודם/פקס פנימי

לעיתים מעוניין המשתמש בקשר רציף וקבוע בינו לבין המחשב השני, ואז הוא מזמין קווי נל״ן (נקודה לנקודה) בין האתרים המרוחקים שלו. קווי נל״ן הם אפיקים ברוחב של 4 קה״צ, שאינם עוברים דרך מרכזות הטלפון (אינם ממותגים). קו הנל״ן יכול להיות מסוג **2w**, כלומר בעל זוג גידים (המשמשים הן לשידור והן לקליטה), או **4w** בעל שני זוגות גידים (אחד לשידור ואחד לקליטה). במקרה של **4w** קיימת הפרדה בין זוג גידי השידור וזוג גידי הקליטה, לכן ניתן לקבל ביצועים טובים יותר. ציור 2.3 מתאר ניתוב של קו נל״ן וזוג מודמי נל״ן המחוברים בקצותיו.



ציור 2.3 - מודמי נל״ן ברשת הטלפון

המודמים פועלים על פי תקנים, שנקבעו ע"י ארגון התקשורת הבינלאומי (CCITT), והמרוכזים בטבלה הבאה:

תקני מודמים

תקן	קצב מקסימלי (קסל"ש)	חיוג	נל"ן	אסינכרוני	סינכרוני
V.21	0.3	+	--	+	--
V.22	1.2	+	2W	+	--
V.22bis	2.4	+	2W	+	+
V.23	1.2	+	--	+	+
V.26	2.4	--	4W	--	+
V.26bis	2.4	+	--	--	+
V.26ter	2.4	+	2W	--	+
V.27	4.8	--	4W	--	+
V.27bis	4.8	--	2W/4W	--	+
V.27ter	4.8	+	--	--	+
V.29	9.6	--	4W	--	+
V.32	9.6	+	2W	+	+
V.32bis	14.4	+	2W	+	+
V.33	14.4	--	4W	--	+
V.34	28.8	+	2W	+	+
V.34+	33.6	+	2W	+	+

בחלק מהמודמים מוצעות אופציות נוספות כגון:

- **פקס** - שידור וקליטה בקצב של 14.4 קסל"ש (תקן **V.17**).
- **תיקון שגיאות** (למידע אסינכרוני בלבד) לפי תקן **V.42**, הכולל שני פרוטוקולים: **LAP-M** ו-**MNP-4**.
- עבודה עם מקורות מידע **סינכרוניים** (ראה פסקה 3 בהמשך פרק זה).

- **דחיסה** (למידע אסינכרוני בלבד) בפרוטוקול **V.42bis** ביחס של 4:1, או בפרוטוקול **MNP-5** ביחס של 2:1. משמעות הדבר היא שמודם הפועל בתקנים **V.32bis** ו- **V.42bis** יוכל לקבל מה- **PC** נתונים אסינכרוניים בקצב של 57.6 קסל״ש ולשדר אותם על קו הטלפון בקצב של 14.4 קסל״ש.
- עבודה על קווי **נל״ן** ארוכי טווח בעלי זוג אחד של גידים **(2w)** או שני זוגות **(4w)**. קווי נל״ן הם קווים לא ממותגים, העוקפים את מרכזות בזק ויוצרים קשר קבוע ורצוף בין שני הצדדים (ראה ציור 2.3).
- יכולת התחברות **מקבילית** ל- **PC** (במקום ההתחברות הטורית הרגילה), לצורך הגברת קצב העבודה. דוגמא למודם כזה הוא +DESKPORTE FAST של MICROCOM המשווק ע״י בינת.
- **AUTO ANSWER** - מענה אוטומטי.
- **CALL BACK** - המודם מחייג חזרה למי שפנה אליו והזדהה, כדי לשפר את אבטחת המידע בארגון.
- **מזכירה אלקטרונית** - המודם מבצע פונקציות של מזכירה אלקטרונית כאשר ההודעה הנקלטת נשמרת בזכרון המחשב.
- זיווד **במארז** **(Rack Mount)** המסוגל להכיל הרבה מודמים באתר אחד. לדוגמה: ספקי אינטרנט מעוניינים להתקין עשרות מודמים באתרי הגישה שלהם, והם משתמשים בכרטיסים נתקעים המכילים שניים (או יותר) מודמים לכרטיס.

ולסיכום פרק זה שתי הערות נוספות:

א. מודם הפועל בקצב מסויים, פועל גם בקצבים נמוכים יותר. בעת ההפעלה המודם מנסה להתקשר בקצב הגבוה ביותר, אך במידה ואינו מצליח הוא ירד בקצב. לכן מודם **V.34** מסוגל לפעול מול מודם **V.32bis**, אבל בקצב 14.4 קסל״ש בלבד.

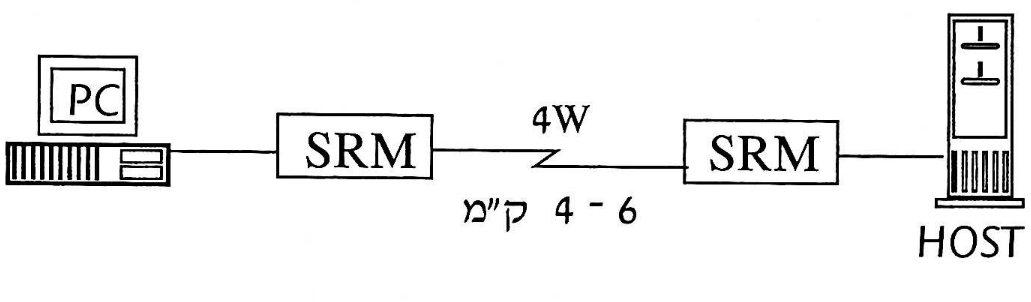
ב. מודם **V.34** עם דחיסת **V.42bis** יכול לקבל מה- **PC** נתונים אסינכרוניים בקצב של 115.2 קסל״ש, ולאחר דחיסה פי 4 לשדר אותם בקצב של 28.8 קסל״ש לרשת הטלפון. ברור שבצד השני חייב להיות מודם זהה, הפותח את הדחיסה ומעביר ל-**PC** הרחוק את הנתונים בקצב אסינכרוני של 115.2 קסל״ש. כבר צויין בסעיף 2 בפרק א׳ כי ה- **PC** הסטנדרטי (פנטיום) מצוייד בכרטיס טורי התומך בקצבים עד 115 קסל״ש לערך. לכן בעבודה עם מודם **V.34** חיצוני אין צורך בכל כרטיס נוסף.

2. מודמים לטווח קצר

לעיתים נדרש להעביר מידע למרחקים קצרים (כמה ק״מ) דרך קווים ייעודיים, המסופקים ע״י חברת בזק, או מותקנים באופן פרטי. במקרים אלה אין עוברים דרך רשת הטלפון אלא משתמשים בקווים קצרים (לרוב מסוג **4w**), שבהם לא קיימת מגבלת ה-4 קה״צ. מודמים המותאמים למרחקים קצרים כאלה נקראים ״מודמים לטווח-קצר״ **(SRM=Short Range Modem)** והם פחות מתוחכמים ויותר זולים מהמודמים לטווח-ארוך.

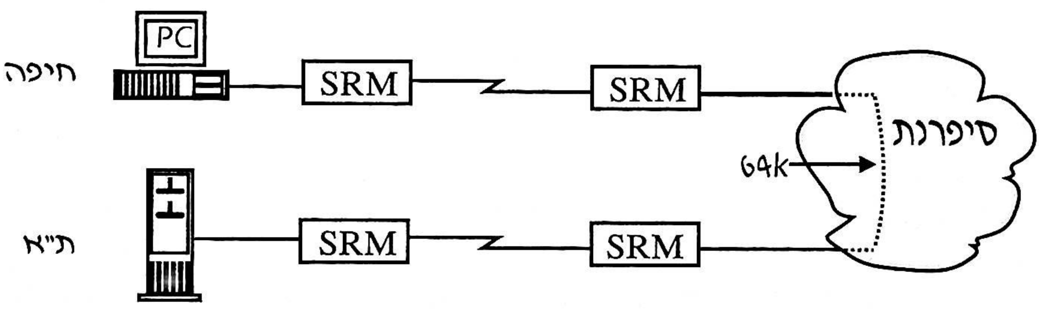
למודמי SRM אלה יש שני יישומים טיפוסיים:

- חיבור **מקומי** בתוך קמפוס (בדרך-כלל באמצעות קווים השייכים למשתמש). לדוגמה: חיבור PC למחשב מרוחק (Host) באותו האתר.



ציור 2.4 - חיבור מקומי באמצעות SRM

- חיבור **בין-עירוני:** מקור סיפרתי (PC לדוגמה) מתחבר באמצעות זוג מודמי SRM לרשת סיפרתית מהירה, ובצדה השני של הרשת מחובר מחשב אחר ע"י זוג SRM נוסף. רשת "סיפרנת" של חברת בזק פועלת בצורה כזו, וציור 2.5 מתאר חיבור אופייני של משתמש בחיפה עם מרכז החברה בת"א דרך רשת "סיפרנת" בקצב של 64 קסל"ש.



ציור 2.5 - חיבור מרחבי באמצעות SRM

הרשתות הסיפרתיות המהירות שהוזכרו לעיל, פועלות בקצבים שונים עד 2 מסל"ש. רשתות אלה הוקמו עקב חוסר היכולת של רשת הטלפון לתמוך בקצבים גבוהים (מגבלת 4 קה"צ), והביקוש לקווים מהירים, שעלה בהתמדה עקב הפעלת יישומים חדשים (חיבור רשתות מקומיות, הקמת רשתות פרטיות המשלבות דיבור ונתונים, ועידה בוידיאו ועוד). דוגמה לכך היא רשת "סיפרנת" של חברת בזק, שהוקמה בשנת 1988 ומספקת אלפי קווים סיפרתיים בכל רחבי הארץ, חלקם הגדול בקצב של 64 קסל"ש ומעלה.

מודמים לטווח-קצר פועלים בדרך כלל על 4 גידים (4w), כאשר כל זוג גידים פועל בכיוון מנוגד. קצבי ההעברה יכולים להיות נמוכים (9,600 סל"ש), בינוניים (64-128 קסל"ש), או גבוהים (2 מסל"ש) בהתאם לסוג של המודם.

עובי הגיד משפיע אף הוא על הביצועים: ככל שהגיד עבה יותר ניתן להעביר מידע בקצב מהיר ולמרחק גדול יותר. אולם, במודם SRM נתון, הגדלת אורך הקו (באותו עובי חוט) תגרום להקטנת קצב העבודה.

מודמים לטווח קצר נחלקים לשלושה סוגים:

א. מודמים מיניאטוריים

- ללא ספק כח (הזנה מהממשק הסיפרתי)
- טווח אופייני 4-6 ק"מ
- קצבי עבודה עד 38.4 קסל"ש
- דוגמאות: **SRM-3, SRM-5, SRM-8** (של חברת "ירד")

ב. מודמים סטנדרטיים

- כוללים ספק כח פנימי
- טווחים וקצבים גבוהים יותר
- בעלי יכולת דיאגנוסטיקה
- דוגמאות: **ASM-10/8, ASM-20, ASM-31, ASM-40** (של חברת "ירד")

ג. מודמים אופטיים

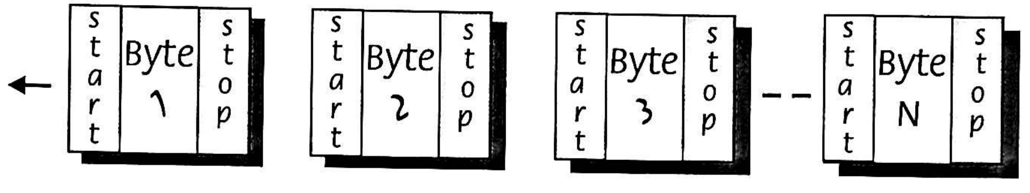
- קצבים וטווחים גבוהים מאד
- אבטחת מידע (מניעת האזנות)
- דוגמאות: משפחת מרבבי **FOM** (של חברת "ירד")

3. תקשורת סינכרונית ואסינכרונית

כדי ששני מחשבים ידברו זה עם זה, הם צריכים תחילה להודיע האחד לשני על תחילת תהליך השידור. לאחר מכן, כאשר המידע כבר זורם, שני הצדדים צריכים להיות מתואמים, כדי שיתרגמו את הסיביות למידע משמעותי באותה צורה. תפקיד זה מוטל על מנגנון הסינכרון (**Synchronization**), הפועל בשתי שיטות עיקריות: אסינכרונית וסינכרונית.

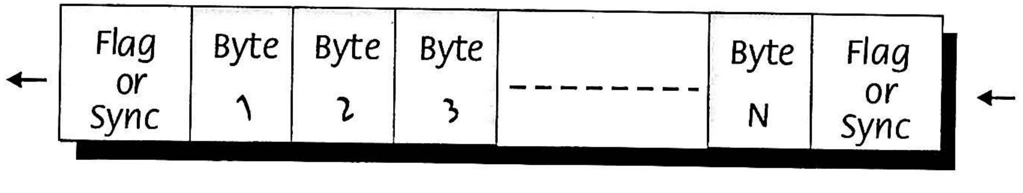
בשיטה האסינכרונית (**Asynchronous**) משדרים את המידע בתווים (**Characters**), הנקראים גם בתים (**Bytes**), בעלי אורך של 8 סיביות כל אחד. כל תו מתחיל בכותרת הנקראת **Start** ומסתיים ב- **Stop**. אם ה-**Start** וה- **Stop** מיוצגים ע"י סיבית אחת (כל אחד), אורך התו גדל ל-10 סיביות. כאשר הצד הקולט מזהה את קידומת ה- **Start** הוא מסתנכרן ומוכן לקלוט את 8 סיביות המידע. סיבית ה- **Stop** מאשרת, ששידור התו הסתיים והצד הקולט נערך לקליטת תו נוסף. בשיטה האסינכרונית הסינכרון בין שני הצדדים מבוצע **בכל תו בנפרד**, ולכן השיטה נקראת לעתים גם **Start/Stop**.

יעילות השיטה היא נמוכה (קיים "בזבוז" של לפחות 2 סיביות על כל תו משודר), אבל יישומה פשוט וזול ומשתמשים בה לקצבים נמוכים (עד כ-100 קסל"ש). רוב מחשבי ה- PC מצויידים בממשקים אסינכרוניים (כרטיסים טוריים המוגדרים כ- COM1/COM2), כמתואר בציור 1.2.



ציור 2.6 - תקשורת אסינכרונית

בשיטה הסינכרונית (Synchronous) משדרים בצוותא מספר תווים בתוך מסגרת (Frame) ארוכה, ודואגים לסינכרון בין שני הצדדים **לאורך כל המסגרת**. בתחילה משדרים תו סינכרון מיוחד (הנקרא Synch או Flag) הגורם לצד הקולט להסתנכרן, לאחר-מכן משדרים את תווי המידע (שגם בתוכם ניתן לשבץ תווי סינכרון), ובסיום המסגרת משדרים שוב את תו הסינכרון. בנוסף לכך, כל צד משדר לצד השני אות שעון (Clock), כך שהצד הקולט יודע בדיוק היכן מתחילה כל סיבית.



ציור 2.7 - תקשורת סינכרונית

שלושת הפרוטוקולים הסינכרוניים הנפוצים הם SDLC ,BSC (שניהם מבית היוצר של IBM), וכן HDLC שהוא גירסת ארגון התקינה ISO לתקן SDLC (עם שינויים מזעריים). בנוסף קיימות וריאציות של פרוטוקולים אלה (כגון: LAP-B, LAP-D, LLC ועוד, שאותם נכיר בהמשך).

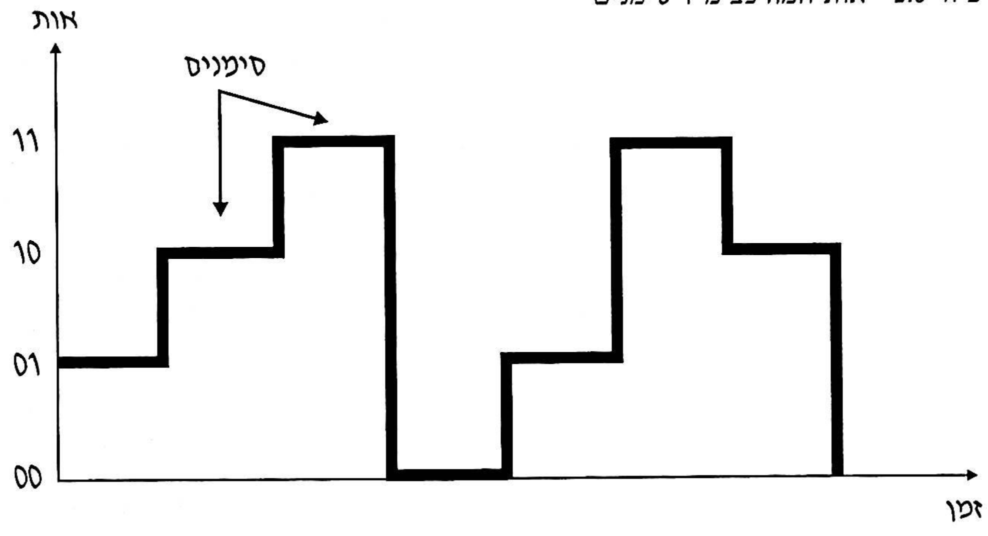
השיטה הסינכרונית מאפשרת עבודה בקצבים גבוהים יותר, ויישומה יקר ומסובך יותר. משתמשים בה בציוד כגון: מרבבים, גשרים, נתבים וכו' בהם נדרשת תקשורת בקצבים גבוהים. בשיטה הסינכרונית חייבים לאגור את כל המסגרת גם בצד המשדר וגם בצד הקולט, ודבר זה נעשה על ידי חוצצים (Buffers) שאורכם כאורך המסגרת (או כמה מסגרות). האגירה מאפשרת בדיקת תקינות המסגרת לאחר קליטתה ובקשה לשידור חוזר (אם המסגרת נקלטה לא תקינה). פירוט נוסף על פרוטוקולים סינכרוניים יינתן בפרק ג'.

4. קיבול האפיק

אחת הסוגיות שהעסיקה במשך זמן רב את אנשי התקשורת היא: מהו קיבול האפיק? במילים אחרות, אם נתון אפיק אנלוגי כלשהו, מהו קצב הנתונים המקסימלי שיכול לעבור דרכו?

הראשון שניסה לענות על שאלה זאת היה נייקויסט (NYQUIST) בשנות ה- 20 של המאה הנוכחית. נייקויסט הוכיח, שאפיק בעל רוחב סרט אנלוגי של **W** הרץ יכול להעביר **2W** סימנים בשנייה, בתנאים של חוסר רעש. לדוגמה, אפיק בעל רוחב סרט של 3,000 הרץ יכול להעביר 6,000 סימנים בשנייה. המושג "סימנים בשנייה" נקרא בספרות הטכנית בשם באוד (Baud). באוד יכול לייצג סיבית (bit) אחת, אבל במקרה הכללי הוא מייצג כמה סיביות. בציור 2.8 מתואר אות המתקבל ממקור מידע (כדוגמת מודם), שיכול לשדר 4 סימנים שונים. הסימנים הם: 00,01,10 ו-11 וכל אחד מיוצג ע"י רמת מתח שונה.

ציור 2.8 - אות המורכב מ-4 סימנים



כל באוד מייצג במקרה זה 2 סיביות, והמידע המשודר באפיק הוא ...01101100011110. במקרה הכללי, אם יש L סימנים (רמות מתח שונות), אפשר לייצג בעזרתם **N=logL** סיביות (log בבסיס 2, או 2^N=L). בכל פעם שיופיע log בהמשך פיסקה זאת, הכוונה לבסיס 2).

נוסחת נייקויסט לקיבול האפיק בתנאים חסרי רעש היא: C=2W logL

דוגמא: מהו קיבול אפיק טלפון בעל רוחב סרט אפקטיבי של 3,100 הרץ, אם משדרים בו אות בעל 8 רמות מתח שונות?

תשובה: סל"ש 18,300 = 2 x 3,100 x 3 = C=2W log L   (log 8=3)

נראה לכאורה, שניתן להגדיל את L ככל שנרצה ולקבל קיבולי אפיק גבוהים. למעשה, הדבר אינו אפשרי מכמה סיבות:

- לא ניתן לשדר אות בעצמה גבוהה עקב מגבלות האפיק (התנגדות, קיבול, ניחות וכו׳).
- אם עצמת האות קבועה, הרי שככל שגדל הערך של L (מספר הסימנים), כן קטן ההפרש בין רמות האות שלהם. המקלט חייב להיות יותר רגיש, מסוגל לזהות אותות בעוצמה נמוכה, וכתוצאה מכך יותר מתוחכם ויקר.
- למעשה האפיק אינו חסר רעש כפי שהניח נייקויסט.

כ- 20 שנה לאחר עבודתו של נייקויסט פורסמה ע״י שנון (SHANNON) תיאוריה אחרת, הלוקחת בחשבון את השפעת הרעש על קיבול האפיק.

נוסחת שנון היא: C=W log (1+S/N)

כאשר S/N מבטא את יחס אות לרעש (SIGNAL TO NOISE) הקיים באפיק.

דוגמא: מהו קיבול אפיק טלפון בעל רוחב סרט של 3100 הרץ, ובעל יחס אות לרעש של 1,000?
תשובה: סל״ש C=3100 log (1+1000) = 30,900

מודם +V.34, שהוזכר בפיסקה מס׳ 1 (ראה טבלה), מתוכנן לפעול בקצבים עד 33,600 סל״ש, הקרובים מאוד למקסימום התיאורטי (35,000 סל״ש לערך). ברור שהוא דורש קווי תקשורת ״נקיים״, בעלי יחס אות לרעש טוב מאוד.

5. סכום פרק ב׳

בפרק זה הכרנו את המודמים, המאפשרים למקורות סיפרתיים (כגון PC) להתקשר ביניהם על רשת הטלפון האנלוגית. המודמים נחלקים לשתי משפחות עיקריות:

א. מודמים לטווח-ארוך (לרשתות טלפון)
- מודמים לחיוג, המסופקים ככרטיסי PC או מכשירים חיצוניים
- מודמים נל״ן, המסופקים בעיקר כמכשירים חיצוניים

ב. מודמים לטווח-קצר (מספר ק״מ)
- מודמים מיניאטוריים (ללא ספק-כח)
- מודמים סטנדרטיים
- מודמים אופטיים

כמו-כן הכרנו את שיטת התקשורת האסינכרונית (שבה הסינכרון בין שני הצדדים מתבצע על כל תו בנפרד), ואת שיטת התקשורת הסינכרונית (שבה כל צד משדר לצד השני שעון, והסינכרון מתבצע על מסגרת המכילה מספר רב של תווים). בסיום הפרק, הכרנו את המושגים "באוד" ו-"קיבול האפיק" ואת נוסחאות נייקויסט ושנון לחישוב תיאורטי של קבול האפיק.

פרק ג' - פרוטוקולים סינכרוניים

1. הקדמה

בפרק ב' הכרנו את שיטות התקשורת האסינכרוניות והסינכרוניות, ובפרק זה נרחיב את הדיבור על פרוטוקולים סינכרוניים שהם כיום הדומיננטיים בתקשורת.

השיטה האסינכרונית הופעלה עוד בשנות ה-50 לתקשורת בין מסופים למחשבים, אולם פעולתה הייתה איטית ולא התאימה להעברת נתונים בקצבים מהירים, צורך שהתעורר באותה תקופה. כדי להתגבר על הבעיה פיתחה חב' יבמ בראשית שנות ה-60 את השיטה הסינכרונית, שיושמה תחילה בפרוטוקול BSC (Binary Synchronous Communications), ומאוחר יותר (בשנת 1969) בפרוטוקול SDLC (Synchronous Data-Link Control).

ה-SDLC הוא אחד הפרוטוקולים החשובים בתקשורת נתונים, מהווה מרכיב חשוב בארכיטקטורת הרשת SNA של יבמ, ושימש כאב-טיפוס לפרוטוקולים סינכרוניים נוספים שבאו בעקבותיו (כגון: ADCCP, HDLC, LAP-B, LAP-D) וכן לפרוטוקולים של רשתות מקומיות (איתרנט, טבעת אסימון, FDDI).

התכונות החשובות של פרוטוקול SDLC הן:

- עבודה דו-כיוונית (Full Duplex) מלאה, כלומר יכולת להעביר מסגרות בו-זמנית בשני הכיוונים. פרוטוקול BSC לעומתו פועל באופן כיווני למחצה (Half Duplex), שבו רק תחנה אחת יכולה לשדר ברגע מסויים וכיוון השידור מתחלף בהתאם לתחנה המשדרת.

- פרוטוקול SDLC הוא מסוג Bit-Oriented, כלומר מסוגל להעביר יחידות גדולות של מידע (Blocks) ללא קשר לתוכנן. לעומת זאת, פרוטוקול BSC וכן הפרוטוקול האסינכרוני הם מסוג Character-Oriented, המטפלים בהעברת אוסף של תווים. הצד המשדר צריך לקודד כל תו בנפרד, והצד הקולט חייב לפענח אותו, כדי להחליט אם הוא תו בקרה או תו מידע. ברור שהדבר מעמיס את שני הצדדים ולכן עברו לשימוש בפרוטוקולים מסוג Bit-Oriented.

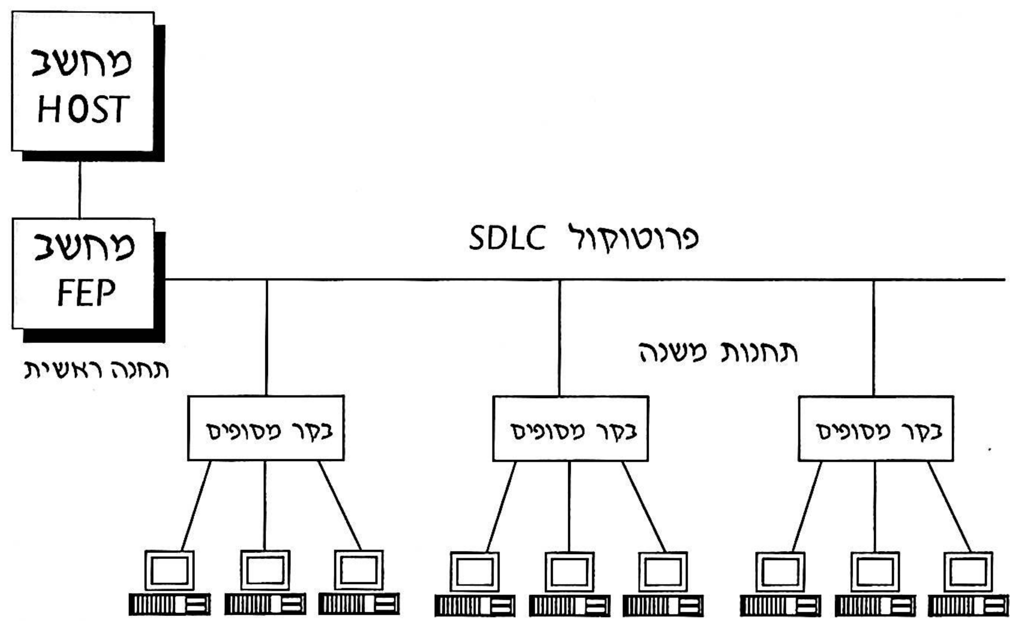
- כל המסגרות בנויות בצורה דומה, וקל מאוד לזהות את המיקום של כל אחד מהשדות.

- הפרוטוקול מכיל מנגנון לגילוי שגיאות, הנקרא FCS.

- הפרוטוקול אינו מכיל תווי סינכרון המשולבים בתווי המידע (כפי שקורה בפרוטוקול BSC), למעט שדות ההתחלה והסיום.

2. פרוטוקול SDLC

פרוטוקול SDLC משמש במערכות SNA של יבמ לתקשורת מסוג נל"ין (נקודה-לנקודה) בין שני אלמנטים, לתקשורת מסוג "נקודה להרבה נקודות" (Multipoint), או לתקשורת בחוג סגור (Loop). בפרוטוקול זה מגדירים תחנה ראשית (שהיא בדרך כלל מחשב ה-FEP) ותחנות משנה (שהן בקרי המסופים, Cluster Controllers) המחוברות בקונפיגורציה של Multipoint (או Loop).

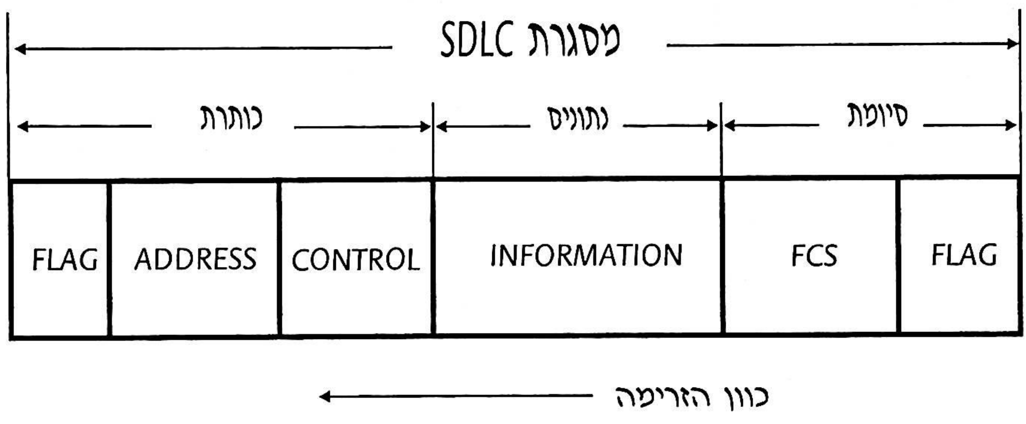


ציור 3.1 - יישום פרוטוקול SDLC

תפקיד פרוטוקול SDLC הוא להעביר מסגרות בין התחנה הראשית לבין תחנות המשנה (ולא בין תחנות המשנה). הוא מבצע זאת בשיטת Master/Slave, שבה לתחנה הראשית יש שליטה מלאה על תחנות המשנה.

תחנת משנה יכולה לשדר מידע רק כאשר קיבלה פנייה ישירה (הנקראת Polling) מהתחנה הראשית, ואין לה זכות לשדר אם לא קיבלה פנייה כזאת. התחנה הראשית משתמשת בפרוטוקול SDLC כדי לפנות לתחנות המשנה בצורה מחזורית כמה פעמים בשנייה (דוגמה טיפוסית: 5 פעמים בשנייה).

מבנה המסגרת של פרוטוקול SDLC מתואר בציור 3.2:



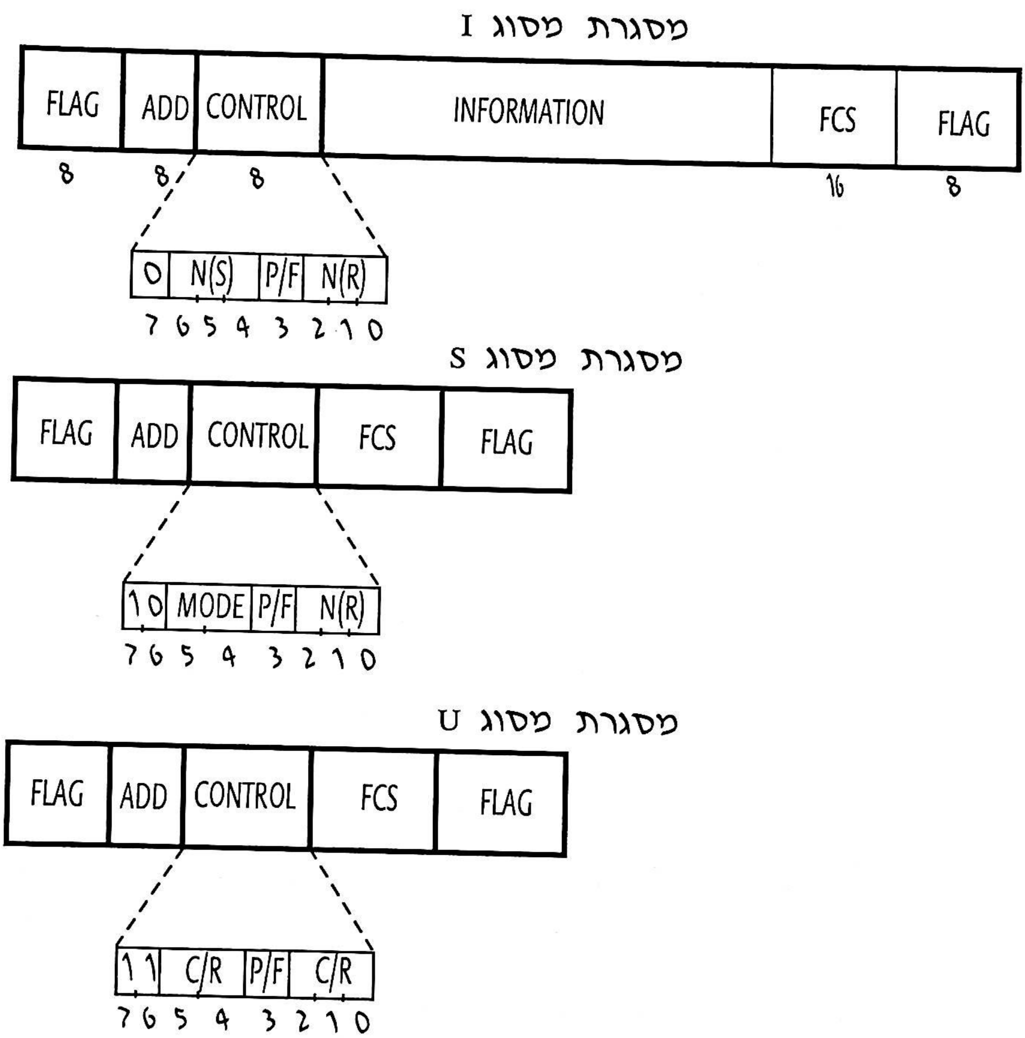
ציור 3.2 - מבנה מסגרת SDLC

בפרוטוקול SDLC מוגדרות מסגרות משלושה סוגים (ראה ציור 3.3):

א. מסגרות I (Information) - מסגרות להעברת מידע.
שדה המידע אינו מוגבל באורכו, אבל הוא חייב להיות כפולה של 8 סיביות. מאחר שמסגרות I מכילות מידע, הן מסופררות בכיוון השידור N(S) ובכיוון הקליטה N(R) - דבר המבטיח שמירה על רציפותן ומאפשר בקשה לשידור חוזר אם מסגרת מסוימת הגיעה לא תקינה.

ב. מסגרות S (Supervisory) - מנהלות את ערוץ התקשורת, מבצעות את הפניות (Polling) לתחנות המשנה, מוודאות אישורי קבלת מסגרות מכל צד, ועוד.
מסגרות אלו אינן מכילות שדה מידע, אולם הן כוללות ספרור קליטה בלבד N(R).

ג. מסגרות U (Unnumbered) - מסגרות שאינן מכילות כל מידע או ספרור, אך מכילות אוסף של פקודות או תגובות (בשדה Control שלהן), כגון: אתחול וניתוק, דיאגנוזה ובקרה של תחנות משניות.



ציור 3.3 - סוגי מסגרות SDLC

הגדרת סוגי המסגרות נמצאת בסיביות הראשונות של שדה ה-**Control**: סיבית בערך "0" במקום מס' 7 מצביעה על מסגרת מסוג I. צירוף הסיביות "10" במקומות 6 ו-7 (בהתאמה) מציין מסגרת **S**, והצירוף "11" - מסגרת **U**.

כמתואר בציור 3.3, סיבית מס' 7 משודרת ראשונה, לאחריה מס' 6 ולבסוף סיבית מס' 0. יש לציין שהמספר הבינרי בשיטת **SDLC** כתוב כשערכו הנמוך הוא במקום מס' 7, וערכו הגבוה במקום מס' 0.

3. פירוט השדות בפרוטוקול SDLC

להלן פירוט השדות השונים בפרוטוקול SDLC (ראה ציורים 3.2 ו-3.3):

• FLAG -צירוף קבוע של 8 סיביות (01111110), המציין את תחילת (או סיום) המסגרת (7E בכתיב הקסאדצימלי). כדי למנוע שיבושים, בכל פעם שמתגלה בתוך המידע תבנית הכוללת 6 סיביות "1" רצופות, הצד המשדר מוסיף סיבית "0" מאולצת לאחר ה-"1" החמישי, והצד הקולט חייב לסלק אותה בהתאם.

• ADDRESS -מכיל בדרך כלל את כתובת התחנה המשנית (8 סיביות). התחנה הראשית יכולה גם לשדר מסגרות למספר תחנות משניות: אם הסיבית האחרונה בשדה הכתובת היא "0", פרוש הדבר שיש כתובת נוספת. אם הסיבית האחרונה היא "1" - אין כתובת נוספת. יש גם אפשרות לכתובת **Broadcast**, שפירושה שידור כולל לכל התחנות המשניות ב-**Multipoint**.

• CONTROL -שדה בעל 8 או 16 סיביות המגדיר את סוג המסגרת, מכיל את ספרורי המסגרות ואת הבקרות של כל מסגרת. סיבית **P/F** מציינת **Poll** או **Final**. אם התחנה הראשית משדרת **P=1**, זה נותן לתחנה המשנית זכות לשדר. התחנה המשנית משדרת מספר מסגרות עם **F=0**, עד למסגרת הסופית שבה **F=1**.
במסגרות מסוג **S** מוקצות שתי סיביות (4 ו-5) לפונקציות בקרה. קיימות 4 פונקציות כאלו שהנפוצה שבהן היא **RR** (00), שהיא פקודת **Polling**.
במסגרות מסוג **U** מוקצות 5 סיביות להגדרת פקודות, ולכן אפשר להעביר עד 32 צירופים שונים. לדוגמה, הצרוף 00001 הוא **SNRM** והצרוף 11011 הוא **SNRME** (ראה הפיסקה הבאה).

• INFO -שדה המידע, המופיע רק במסגרות מסוג I, ואורכו חייב להיות כפולה של 8 סיביות. הוא יכול להכיל כל סוג של מידע, ואינו חייב להתבסס על קידוד מסויים.

• FCS -שדה בעל 16 סיביות המשמש לבדיקת שגיאות (**Frame Check Sequence**), המופיע בכל סוגי המסגרות. בעת הכנת מסגרת לשידור, הצד המשדר מחשב את סיביות ה-**FCS** לפי נוסחה מתימטית מוסכמת (הנקראת **CRC-CCITT**). הצד הקולט מחשב אף הוא את ה-**FCS** לפי אותה נוסחה ומשווה עם הסיביות שקלט. אם ה-**FCS** המחושב שווה ל-**FCS** שנקלט - המסגרת נקלטה תקינה. אם לא - הצד הקולט מבקש שידור חוזר.

4. ספרור המסגרות בפרוטוקול SDLC

כאמור לעיל, ספרור המסגרות נעשה בצורה מלאה (לשני הכיוונים) במסגרות מסוג I, ובצורה חלקית (בכיוון הקליטה בלבד) במסגרות מסוג S.

במסגרת מסוג I משתמשים בסיביות 6, 5 ו-4 בשדה CONTROL לספרור מסגרות השידור (N(S, ובסיביות 2, 1, ו-0 לספרור מסגרות הקליטה (N(R. בעזרת 3 סיביות אפשר להגדיר 8 ערכים: מ-000 ("0" בכתיב דצימלי) עד 111 ("7" בכתיב דצימלי), כך שלכל מסגרת יש ספרור משלה. הספרור מ-0 עד 7 (הנקרא Modulo 8) מאפשר להעביר עד 8 מסגרות בכיוון מסוים ללא קבלת אישור. ברור שהאישור של הצד השני צריך להינתן לכל המאוחר במסגרת השמינית, כדי להתחיל את הספירה מחדש. אם מסגרת לא נקלטה כראוי בצד מסוים, הצד השני יכול לבקש שידור חוזר תוך ציון מספרה הסידורי של המסגרת.

קיימת גם אפשרות להגדיל את שדה CONTROL מ-8 ל-16 סיביות, ובהתאם לכך להגדיל את הספרור בכל כיוון ל-7 סיביות (שיטה הנקראת Modulo 128). במקרה זה ניתן להעביר עד 128 מסגרות ללא צורך באישור. הבחירה באיזו אפשרות לעבוד מתבצעת בעת הקמת הקשר, כאשר התחנה הראשית שולחת פקודת SNRM (Set Normal Response Mode) בתוך מסגרת U, המגדירה ספרור של 8. לחילופין יכולה התחנה הראשית לשלוח פקודת SNRME (SNRM Extended) בתוך מסגרת U, שמשמעותה ספרור עד 128. פקודות אלה מאפסות את מוני (N(S ו-(N(R בשני הצדדים ומאפשרות אתחול התהליך.

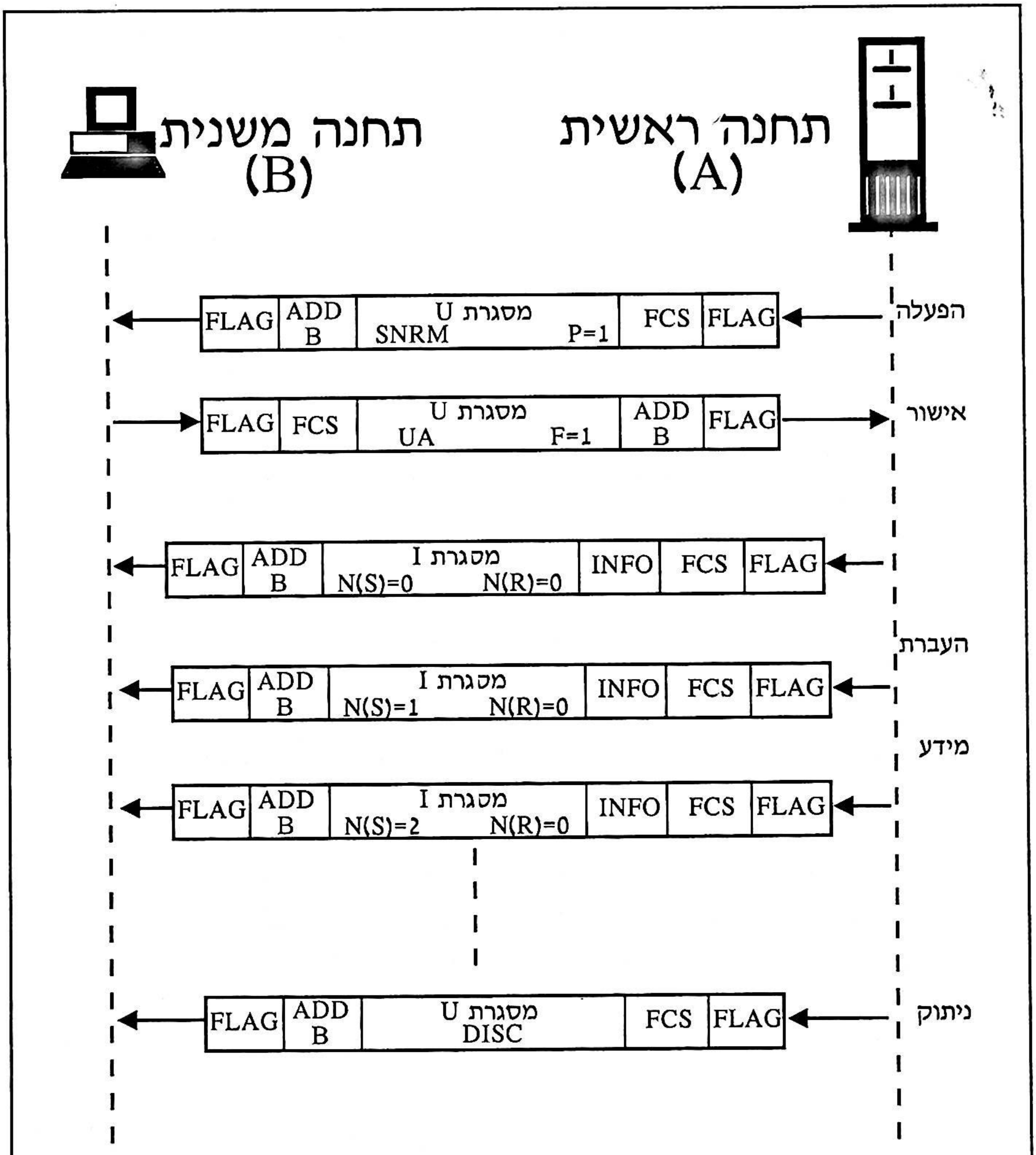
המספר המקסימלי של מסגרות שניתן לשדר עד לקבלת אישור נקרא "חלון" (Window), והוא יכול להשתנות מ-1 ועד 128. בעבודה על קווים מהירים ונקיים מרעשים אפשר להשתמש ב"חלון" גדול, ולהעביר כמות גדולה של מסגרות מידע לפני קבלת אישור. לעומת זאת בקווים רועשים גודל ה"חלון" צריך להיות קטן, כך שהתחנה המשדרת תוכל לשלוח מייד מסגרת שהשתבשה.

יש לשים לב שהמספר (N(S מציין את המספר הסידורי של המסגרת ששודרה בפועל, ואילו (N(R מציין את המספר הסידורי שהצד הקולט מצפה לקבל (כלומר המספר האחרון שנקלט תקין + 1). הדוגמאות בהמשך תבהרנה זאת.

5. דוגמאות ליישום פרוטוקול SDLC

להלן מספר דוגמאות להמחשת פעולת פרוטוקול SDLC במקרים שונים.

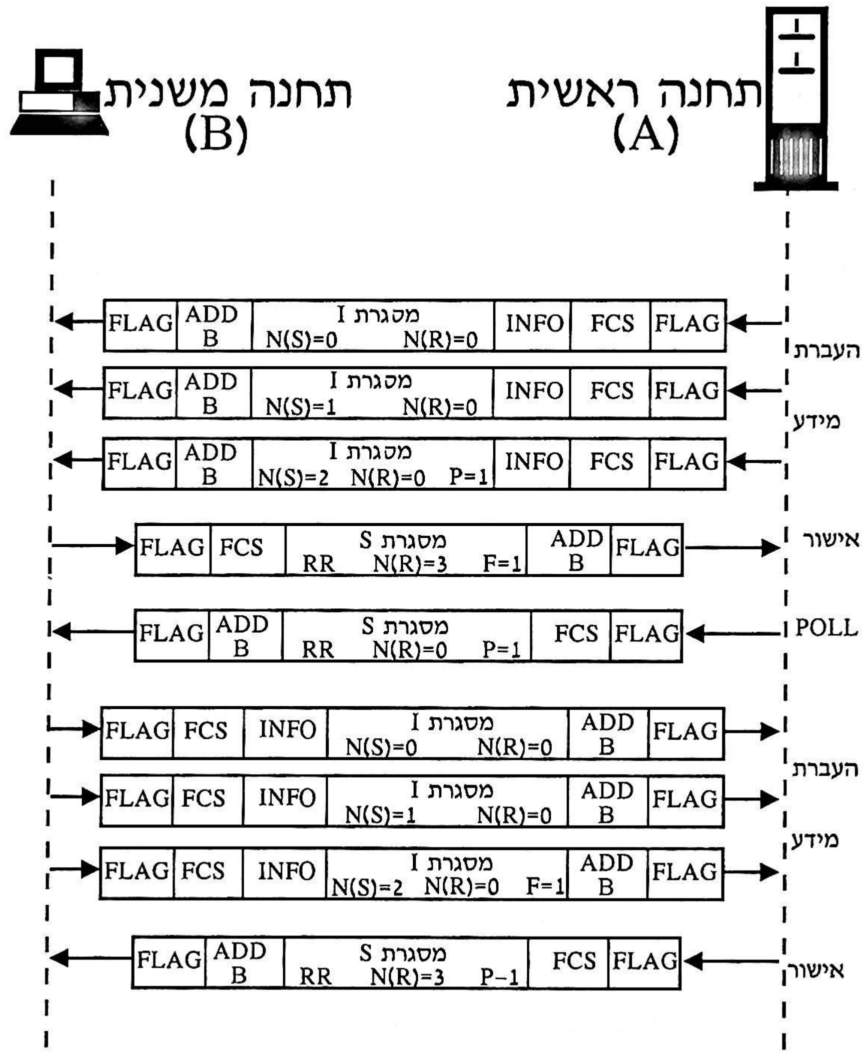
א. תחנה ראשית מפעילה תחנה משנית



ציור 3.4 - הפעלה וניתוק של תחנה משנית

בדוגמה לעיל (ציור 3.4) התחנה הראשית **A** הפעילה את התחנה המשנית **B** ע"י מסגרת **U** הכוללת פקודת **SNRM**, המאפסת את המונים בשני הצדדים. התחנה המשנית החלה לעבוד ושלחה אישור בצורת מסגרת **U** הכוללת צירוף **UA (Unnumbered Acknowledge)**. בגמר התקשורת התחנה הראשית סוגרת את התחנה המשנית ע"י פקודת **DISC (Disconnect)** הכלולה במסגרת **U**. שים לב לכתובת הקבועה **B** בכל המסגרות, לצורת השימוש ב- **P** (מתן זכות שידור לתחנה המשנית), ולשימוש במסגרות **U** לצורך איתחול וניתוק של תחנה משנית.

ב. תקשורת ללא שיבושים בין התחנות

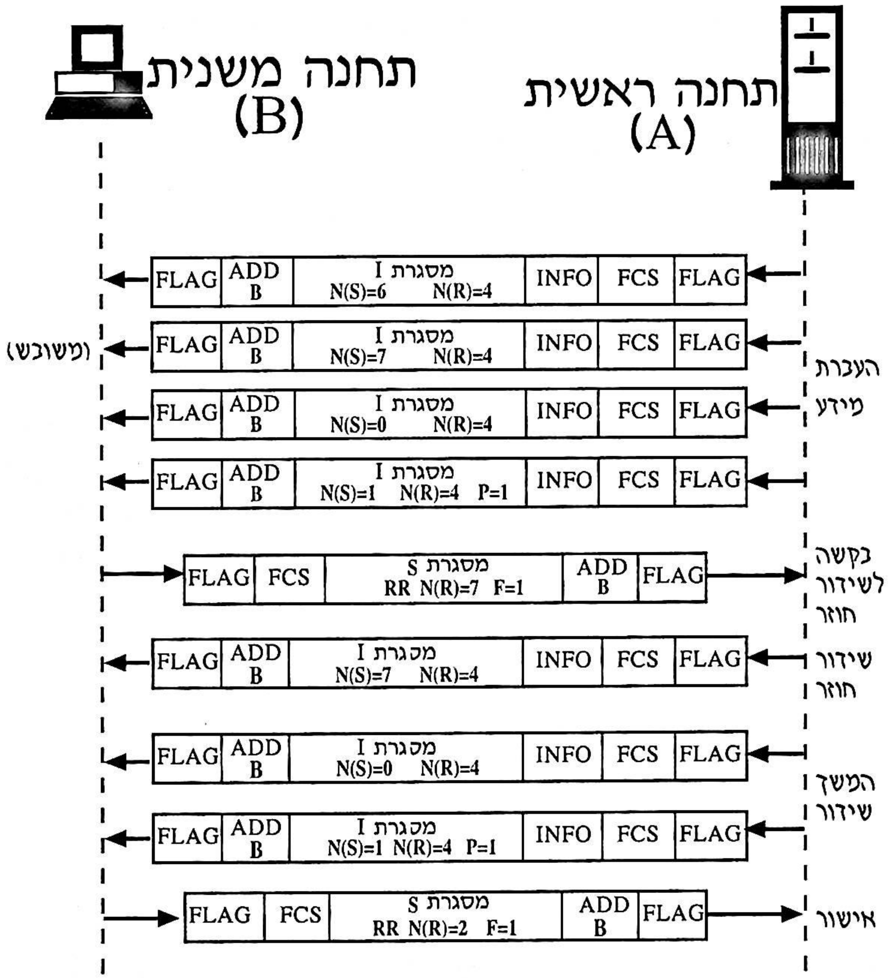


ציור 3.5 - תקשורת ללא שיבושים

בדוגמה זאת (ציור 3.5) מתקיימת תקשורת בין התחנות לאחר שכבר נסתיים תהליך האתחול (שתואר בפיסקה הקודמת) והוחלט על "חלון" בגודל מסוים. התחנה הראשית שולחת 3 מסגרות מסוג I, שכל אחת מהן כוללת שדה מידע. מונה ספרור השידור N(S) בתחנה הראשית עולה עם כל מסגרת, והוא משודר לתחנה המשנית. במסגרת השלישית משדרת התחנה הראשית P=1, שפירושו מתן זכות אישור לתחנה המשנית. התחנה המשנית משדרת אישור על קליטת 3 מסגרות תקינות בצורת מסגרת S המכילה פקודת RR (Receiver Ready). הספרור N(R)=3 מציין שהתחנה המשנית מצפה לקבל את המסגרת בעלת N(S)=3, והסימון F=1 מראה שהתחנה המשנית סיימה לשדר.

לאחר מכן התחנה הראשית שולחת פקודת Poll לתחנה המשנית בצורת מסגרת S(RR) עם P=1. התחנה המשנית מגיבה עם 3 מסגרות מסוג I המכילות מידע. המסגרות מסופררות בהתאם, והאחרונה שבהן כוללת F=1, המציין סוף שידור. התחנה הראשית מאשרת קבלת 3 מסגרות תקינות [N(R)=3] ומאפשרת לתחנה המשנית להמשיך ולשדר (P=1).

ג. תקשורת עם שיבושים בין התחנות



ציור 3.6 - תקשורת עם שיבושים

בדוגמה זאת (ציור 3.6) נפל שיבוש במסגרת N(S)=7, והתחנה הראשית ממשיכה בשידור מספר מסגרות. ברגע שניתנה לתחנה המשנית זכות אישור (ע"י P=1), התחנה המשנית מודיעה N(R)=7 שפירושו שהיא מבקשת שידור חוזר של N(S)=7. התחנה הראשית משדרת את המסגרת המבוקשת, וחוזרת על כל המסגרות שאחריה (אף כי שודרו קודם לכן). שים לב שאחרי N(S)=7 באה מסגרת N(S)=0, בהתאם לכללי Modulo 8.

6. פרוטוקולים סינכרוניים נוספים

כאמור לעיל פרוטוקול **SDLC** פורסם ע"י חב' יבמ בשנת 1969 והיה הראשון בסדרת פרוטוקולים סינכרוניים מסוג **Bit-Oriented**. בשנת 1971 "אומץ" פרוטוקול **SDLC** ע"י ארגון התקינה הבינ"ל **ISO** ונקרא **HDLC (High-Level Data Link Control)**. פרוטוקול **HDLC** זכה לתפוצה נרחבת והוא מנוצל ביישומים רבים. נגזרו ממנו גם פרוטוקולים אחרים (ראה ציור 3.7), המנצלים אופציות מסוימות של **HDLC**, כגון:

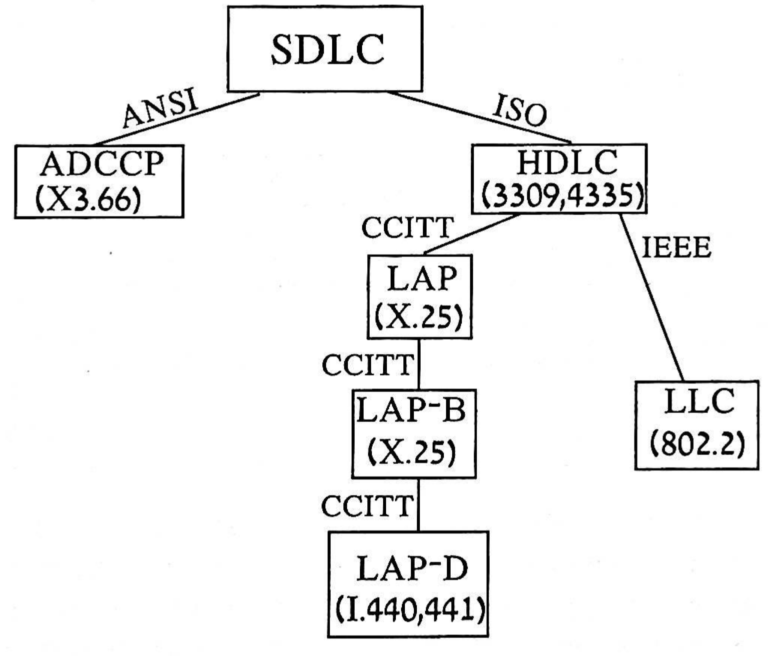
- **LAP-B**, פרוטוקול שפורסם בשנת 1978 ע"י ה-**CCITT** ומשמש ברשתות מיתוג מנות (**X.25**). גירסה מוקדמת שלו נקראה **LAP** (ראה פרק ה' סעיף 4).

- **LAP-D**, פרוטוקול הגישה בערוץ **D** של **ISDN** ומאוחר יותר פרוטוקול מיתוג מסגרות (**Frame Relay**) (ראה פרק ו' סעיף 2, ופרק ז' סעיף 6).

- **LLC**, פרוטוקול ה- **Data Link** של משפחת הרשתות המקומיות (כגון: אתרנט, טבעת אסימון, **FDDI**).

- **LAP-F**, פרוטוקול הגישה לרשת מיתוג מסגרות (ראה פרק ו' סעיף 2).

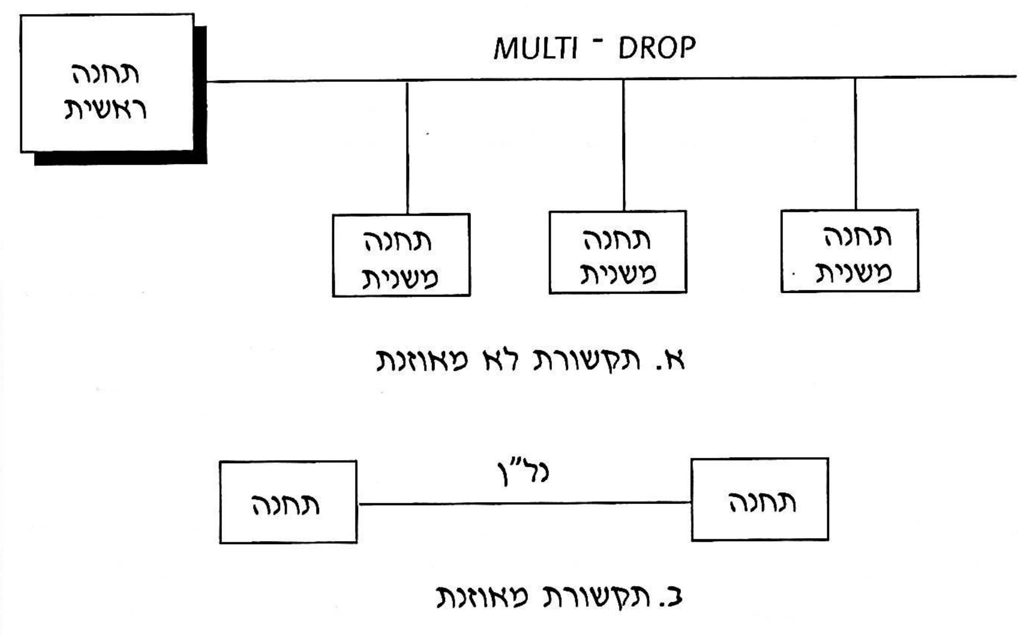
פרוטוקול **SDLC** אומץ גם ע"י ארגון התקינה האמריקאי **ANSI** ונקרא **ADCCP (Advanced Data Communications Control Procedure)**, או תקן **X3.66**. ציור 3.7 מתאר את הפרוטוקולים העיקריים השונים שהתפתחו מפרוטוקול **SDLC**.



ציור 3.7 - התפתחות הפרוטוקולים הסינכרוניים

פרוטוקול SDLC פועל בשיטה לא מאוזנת (Unbalanced), כאשר השליטה באפיק התקשורת נמצאת באופן בלעדי בידי התחנה הראשית, הנותנת זכות שידור לתחנות המשנה ע"י מנגנון ה-Polling.

פרוטוקול HDLC הינו רחב יותר ומסוגל לפעול בשיטה לא מאוזנת (כמו SDLC, ציור 3.1), אך גם בשיטה מאוזנת (Balanced), שבה יש לכל תחנה זכות גישה שווה לרשת. בשיטה המאוזנת התקשורת מתבצעת בין שתי תחנות המחוברות בנל"ן ועובדות בצורה שויונית (Peer-to-peer), כלומר, בעלות זכויות שוות ברשת. לכן פרוטוקול SDLC נחשב כתת-פרוטוקול של HDLC, למרות שקדם לו מבחינה כרונולוגית.



ציור 3.8 - קונפיגורציות של HDLC

שינויים נוספים בין SDLC ו-HDLC הם:

א. שיטת ספרור הסיביות

- ב-SDLC השידור מתחיל מסיבית מס' 7 ונגמר בסיבית מס' 0 (בכל בית). ראה ציור 3.3.
- ב-HDLC השידור מתחיל מסיבית מס' 1 ונגמר בסיבית מס' 8. ראה ציור 3.9.

ב. FCS - פרוטוקול HDLC מאפשר כאופציה הרחבת פונקציית FCS ל-32 סיביות (במקום 16 סיביות ב-SDLC).

ג. בפרוטוקול HDLC אפשר לבקש שידור חוזר סלקטיבי של מסגרת אחת בלבד. בפרוטוקול SDLC השידור החוזר מתחיל במסגרת השגוייה וכולל גם את כל המסגרות שלאחריה (ראה ציור 3.6).

כוון הזרימה ←

סוג מסגרת HDLC	סיביות שדה CONTROL							
	1	2	3	4	5	6	7	8
מסגרת I	0	N(S)			P/F	N(R)		
מסגרת S	1	0	S	S	P/F	N(R)		
מסגרת U	1	1	M	M	P/F	M	M	M

↑ סיבית בערך נמוך (LSB) ↑ סיבית בערך גבוה (MSB)

ציור 3.9 - ספרור הסיביות בפרוטוקול HDLC

7. סיבום פרק ג'

בפרק זה הכרנו את הפרוטוקולים הסינכרוניים, שהם כיום הדומיננטיים בתקשורת. הם מנוצלים הן ברשתות מקומיות (LAN) מסוגים שונים, כגון: אתרנט, טבעת-אסימון, ו-FDDI, והן ברשתות רחבות (WAN) כגון: מיתוג מנות, מיתוג מסגרות ו-ISDN. בפרוטוקול סינכרוני (בניגוד לפרוטוקול אסינכרוני) יש צורך לשדר גם שעון (clock) בנוסף לאות עצמו. השעון יכול להיות מובנה באות, או משודר על זוג חוטים נפרד במקביל לאות.

הפרוטוקולים הסינכרוניים הראשונים פעלו בשיטת **Character-Oriented**, שבה משדרים אוסף של תווים, הכוללים תווי מידע או תווי בקרה (לדוגמה: פרוטוקול BSC). בהמשך עברו לשיטה המועדפת של **Bit-Oriented**, שבה המידע משודר כ"בלוק" של סיביות, ללא צורך בקידוד פנימי לתווים.

פרוטוקול SDLC היה הראשון ממשפחת Bit-Oriented וממנו נגזר מאוחר יותר הפרוטוקול התקני HDLC. פרוטוקול SDLC נמצא בשימוש נרחב במערכות מתוצרת יבמ, והוא עובד בצורה לא - מאוזנת, שבה התחנה הראשית מכתיבה את זכויות השידור לכל תחנות המשנה.

פרוטוקול HDLC פורסם ע"י ארגון התקינה הבינל"א ISO (תקנים מס' ISO 3309 ו-ISO 4335), וכן ע"י הארגון CCITT (הנקרא כיום ITU-T). פרוטוקול HDLC מאפשר עבודה בצורה לא-מאוזנת (כמו SDLC) וכן עבודה בצורה מאוזנת, שבה לכל תחנה יש זכות גישה שווה לרשת.

פרוטוקול HDLC (על כל נגזרותיו) מכיל מנגנונים מובנים של ספרור המסגרות בכל כוון, גילוי שגיאות, אישורים, ובקשות לשידור חוזר. כל אלה הופכים את ה-HDLC לפרוטוקול אמין המטפל בהעברת מסגרות בין תחנות. בהמשך נראה שפרוטוקול כזה נקרא פרוטוקול ברמה השניה, או פרוטוקול של Data Link (בטרמינולוגיה של ארגון התקינה ISO), שתפקידו להעביר מסגרות (Frames) בצורה אמינה בין תחנות ברשת.

נספח לפרק ג' – שיטות בתיבה של מספרים

קיימות מספר שיטות לכתיבת מספרים, שהחשובות שבהן הן:

- עשרוני - בסיס 10 (השיטה המוכרת מחיי יום-יום)
- הקסאדצימלי - בסיס 16
- אוקטאלי - בסיס 8
- בינארי - בסיס 2 (השיטה הפנימית של המחשב)

הטבלה הבאה תבהיר את השיטות השונות:

עשרוני	הקסאדצימלי	אוקטאלי	בינארי
00	00	00	0000 0000
01	01	01	0000 0001
02	02	02	0000 0010
03	03	03	0000 0011
04	04	04	0000 0100
05	05	05	0000 0101
06	06	06	0000 0110
07	07	07	0000 0111
08	08	10	0000 1000
09	09	11	0000 1001
10	0A	12	0000 1010
11	0B	13	0000 1011
12	0C	14	0000 1100
13	0D	15	0000 1101
14	0E	16	0000 1110
15	0F	17	0000 1111
16	10	20	0001 0000
17	11	21	0001 0001
18	12	22	0001 0010
19	13	23	0001 0011
20	14	24	0001 0100

במחשבים ותקשורת משתמשים בדרך-כלל בקבוצה של 8 סיביות הנקראת "בית" (Byte). כדי לקצר את שיטת הכתיבה משתמשים בכתיב הקסאדצימלי, שבו כל 4 סיביות מיוצגות ע"י סיפרה הקסאדצימלית אחת. לדוגמא, שדה FLAG (סעיף 3) שהיא 01111110 בכתיב בינארי, ייהפך ל-7E בכתיב הקסאדצימלי. בכתיב אוקטאלי, מחלקים את המילה הבינארית לקבוצות של 3 סיביות (מימין לשמאל), ולכל קבוצה נותנים ערך אוקטלי. בדוגמה הקודמת, שדה FLAG בכתיב אוקטאלי יהיה 176.

תרגיל: הצג את המספר העשרוני 100 בשלוש השיטות.

תשובה: הקס 64=6x16+4=100

אוקטאלי 144=1x64+4x8+4=100

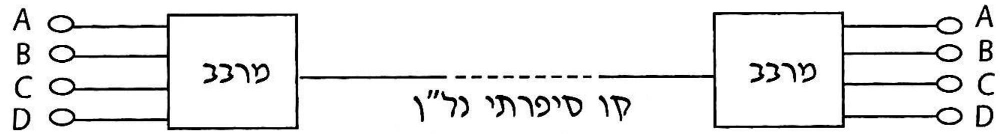
בינארי 01100100=הקס 64=100

פרק ד' - מרבבים

1. שיטות ריבוב (MULTIPLEXING)

נניח שעומד לרשותנו קו סיפרתי קבוע, בעל רוחב סרט של 64 קסל"ש (לדוגמה: קו ברשת "סיפרנת"). קו כזה הוא יקר באופן יחסי, וברור שנרצה לנצל אותו ביעילות מירבית. נוכל להקצות את כל רוחב-הסרט של הקו לטובת זוג מכשירים שזקוקים באופן קבוע לתקשורת בקצב של 64 קסל"ש (לדוגמה: נתבים - Routers), ואז הקו לא יוכל לשרת מכשירים אחרים. אולם לעיתים קרובות אנו משתמשים במקורות שאינם דורשים בקביעות את כל רוחב הסרט ולכן אפשר לחבר כמה מהם על הקו הנתון.

המרבב (Multiplexer, או בקיצור MUX) נועד להעברת מספר אפיקים בו זמנית על קו תקשורת סיפרתי אחד (ראה ציור 4.1).



ציור 4.1 - פעולת הריבוב

קיימים מספר סוגים של מרבבים ספרתיים:

א. מרבבי TDM

ב. מרבבים סטטיסטיים

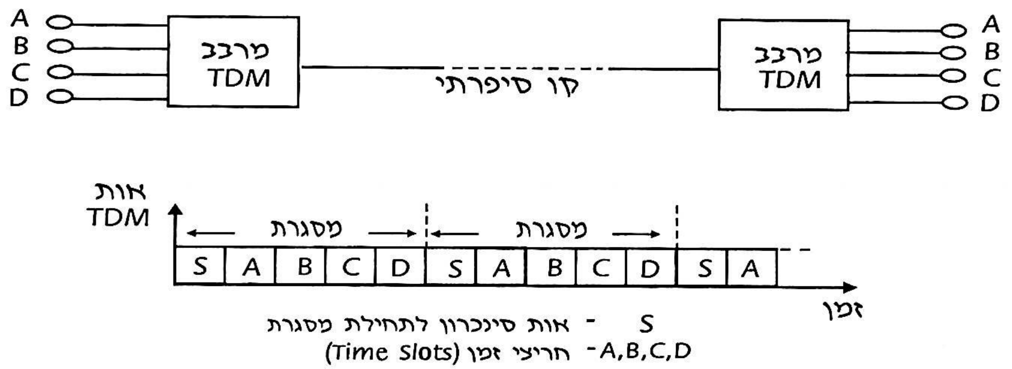
ג. מרבבי דיבור/ נתונים

ד. מרבבי E1\T1

המרבבים האלה עובדים בעיקר בזוגות על קווי **נל"ן סינכרוניים** (כדוגמת "סיפרנת"). מאחר ולא קיימת תקינה למרבבים משלושת הסוגים הראשונים, אין אפשרות בדרך-כלל להפעיל מרבב של יצרן מסוים מול מרבב של יצרן אחר, וחייבים לקחת את זוג המרבבים מאותו יצרן. לעתים מרבב מסוים מסוגל לפעול מול כמה מרבבים, ואז ניתן ליצור רשת קטנה ומוגבלת. אולם אם רוצים לבנות רשת סטטיסטית רחבת-הקף, יש להשתמש בטכנולוגיות תקניות של מיתוג מנות (Packet Switching) או מיתוג מסגרות (Frame Relay) שתתוארנה בפרקים הבאים.

2. מרבבי TDM

בשיטת TDM (Time Division Multiplexing) מקצים לכל מקור חריצי זמן מוגדרים מראש, והמקור יכול להשתמש אך ורק בזמני שידור אלה. המרבב פונה באופן מחזורי לכל אחד מהמקורות, ובפרק הזמן שהוקצה לו המקור רשאי לשדר מידע. בצד השני מתבצעת פעולה דומה, ולכן שני המרבבים חייבים לעבוד בצורה **מסונכרנת**, כלומר להשתמש בפרוטוקול סינכרוני ובקו תקשורת סינכרוני (כולל העברת שעונים בין שני הצדדים).

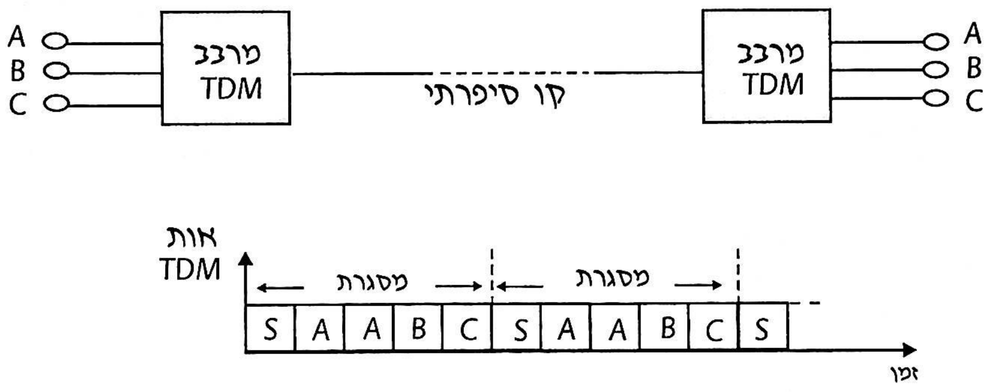


ציור 4.2 - מרבב TDM עם חלוקה שווה

המרבב משדר לקו מסגרות (Frames) בצורה רציפה. בתחילת כל מסגרת יש אות סינכרון (S) ולאחר מכן משודרים חריצי הזמן (Time Slots) של כל אחד מהמקורות באופן מחזורי. עם סיום המחזור מתחילה מסגרת חדשה, הזהה לקודמת.

אם נניח שקצב הקו הסיפרתי הוא 64 קסל"ש, ויש לנו מרבב בעל 4 כניסות זהות, הרי כל מקור יוכל לקבל רוחב-סרט הקרוב ל- 16 קסל"ש. יש לזכור שאותות הסינכרון "גוזלים" רוחב סרט מסויים (בדרך כלל 1-5 אחוזים) ולכן, רוחב-הסרט המוקצה לכל אפיק יהיה נמוך במקצת מ- 16 קסל"ש.

בדוגמה לעיל (ציור 4.2) המרבב דגם את כל האפיקים בצורה מחזורית ושווה. אולם אם אחד האפיקים דורש רוחב-סרט גבוה יותר, אפשר להקצות לו שני חריצי זמן ואז הוא יקבל כ- 32 קסל"ש. ברור שבמקרה זה מספר האפיקים ירד מ- 4 ל- 3 (ראה ציור 4.3).



ציור 4.3 - מרבב **TDM** עם חלוקה לא שווה

בדוגמה זאת אפיק **A** מקבל רוחב סרט של 32 קסל״ש, ואילו אפיקים **B** ו- **C** מקבלים 16 קסל״ש כל אחד (למעשה קצת פחות בגלל ה״בזבוז״ הנגרם ע״י הסינכרון). אפשר כמובן לחלק את רוחב הסרט הכללי לפי קומבינציות אחרות, בתנאי שסכום קצבי האפיקים לא יעלה על קצב הקו.

יש לזכור שמרבבי **TDM** פועלים תמיד **בזוגות**, והמרבב הרחוק מבצע פעולת ראי, כלומר מפרק את המסגרות ושולח כל חריץ זמן למקור הנדרש. פעולת המרבב וכל המקורות היא דו-כוונית **(Full Duplex)**, כלומר כל מקור יכול לשדר ולקלוט בו-זמנית בקצב של 16 קסל״ש (בדוגמה הראשונה), והקו הסיפרתי פועל גם הוא באופן דו-כווני סינכרוני בקצב של 64 קסל״ש (המקורות יכולים להיות סינכרוניים או אסינכרוניים).

בשיטת **TDM** כל מקור מקבל ״כאילו״ קו נליין פרטי מול בן זוגו, בקצב שתוכנן (בדוגמה שלנו -16 קסל״ש), היות והמרבב מבטיח העברת כמות קבועה של סיביות ביחידת זמן לכל אפיק. יתרונו של מרבב **TDM** הוא בכך שהוא חוסך קווי תקשורת, מבטיח זמינות קבועה לכל מקור ואינו מתערב בפרוטוקול התקשורת שבין המקורות (בשפה טכנית אומרים שהמרבב ״שקוף״ לגבי המקורות).

אולם לעיתים קורה שאפיק מסויים (אחד או יותר) אינם מנוצלים מסיבות שונות: המשתמש כיבה את ה- **PC**, המשתמש חולה או בהפסקת צהריים, המשתמש מריץ אפליקציה שאינה דורשת תקשורת (או דורשת תקשורת בקצב נמוך). במקרים אלה מרבב ה- **TDM** ממשיך להקצות למשתמש את רוחב הסרט המתוכנן, וברור שנוצר ״בזבוז״ של רוחב סרט.

אפשר לסכם ולאמר שמרבב ה- **TDM** הוא יעיל וזול באותם מקרים שהאפיקים זקוקים **בקביעות** לכל הקיבול שהוקצה להם. אולם אם המצב אינו כזה וידוע מראש שהאפיקים אינם זקוקים לתקשורת מלאה - עדיף להשתמש במרבב סטטיסטי.

כדוגמה למרבבי TDM אפשר לראות את מרבבי FLM-1 ו- FLM-12 מתוצרת "רד", המסוגלים לרבב עד 12 מקורות בקצבים של עד 38.4 קסל"ש או 19,2 קסל"ש למקור (בהתאמה).

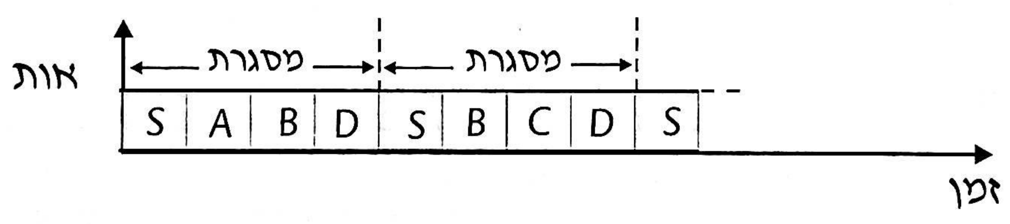
3. מרבבים סטטיסטיים (STATMUX)

מרבבים סטטיסטיים מסוגלים להקצות את קו התקשורת בהתאם לדרישות הרגעיות של האפיקים, תוך ניצול סטטיסטיקת ההסתברות של בקשות השירות. במרבב סטטיסטי הסכום המצטבר של קיבולי האפיקים (הכניסות) גדול מקצב הקו, והיחס ביניהם יכול להיות פי 4 (ואף יותר).

ניקח כדוגמה PC בעל מוצא אסינכרוני של 19.2 קסל"ש. המפעיל שולח בממוצע תו אחד (8 סיביות) בכל עשירית שניה, כך שנדרש בממוצע קצב של 80 סל"ש בלבד. במקרה זה ברור שניתן לחבר כמה מקורות כאלה לקו תקשורת אחד.

במרבבים סטטיסטיים מבוצע בדרך כלל גם תיקון שגיאות בין המרבבים (לדוגמה, ע"י שימוש בשיטת FCS שהכרנו בפרק הקודם), ובכך מוקנה להם יתרון נוסף. הריבוב הסטטיסטי מאפשר ניצול יותר טוב של קו התקשורת מאשר ריבוב TDM, אולם יש לו גם כמה חסרונות:

- בריבוב סטטיסטי עשויה להיווצר השהייה מסויימת כאשר נוצרים "תורים" לשירות, כלומר כאשר הביקוש עולה על יכולת הטיפול של המרבב. במקרים כאלה שבהם סוג המידע אינו סובל השהייה סטטיסטית, רצוי להשתמש במרבב TDM שבו ההשהייה קבועה ונמוכה.
- מרבב סטטיסטי אינו "שקוף" לפרוטוקול שבין המקורות. רוב המרבבים הסטטיסטיים פועלים על פרוטוקולים אסינכרוניים בלבד: הם "מקלפים" את סיביות ה- START וה- STOP מכל תו, "אורזים" כמה תווים ביחד ומשדרים לצד השני.



ציור 4.4 - מבנה מסגרת בריבוב סטטיסטי

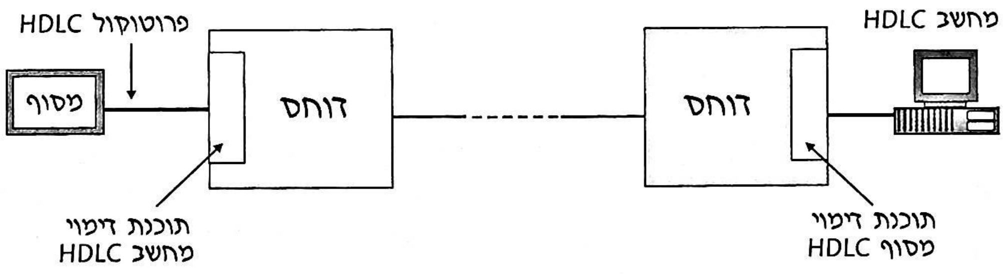
בכל מסגרת מקבלים הקצאת רוחב-סרט רק אותם מקורות שרצו לשדר באותו רגע, והאחרים אינם משדרים. במסגרת הבאה הרכב המקורות עשוי להשתנות עקב הביקוש הרגעי השונה, ולכן גם אורך המסגרת עשוי להשתנות.

כדוגמה למרבבים סטטיסטיים למקורות אסינכרוניים ניקח את משפחת מרבבי **STM** של רד, הכוללת את **STM-4** (בעל 4 מבואות אסינכרוניים) ועד **STM-24** (בעל 24 מבואות אסינכרוניים).

4. דוחסים

כאשר רוצים לבצע ריבוב סטטיסטי על מקורות **סינכרוניים**, משתמשים בטכנולוגיה הנקראת "דחיסה" (**Compression**) והמוצרים נקראים "דוחסים". במרבבים אלה כל מבוא חייב להיות מתואם בנפרד לפרוטוקול סינכרוני מסויים (כגון: **BSC**, **HDLC**, **DDCMP**), והמרבב יעביר בצורה "שקופה" רק את הפרוטוקולים הסינכרוניים שהוא תוכנן לתמוך בהם.

הדוחסים פועלים בדרך כלל בתקשורת בין מסוף (או **PC** המדמה פעולה של מסוף), לבין המחשב המרוחק שלו. מאחר והמסוף רגיל להתחבר ישירות למחשב, חייב המרבב לדמות בצד המסוף כאילו נמצא שם המחשב עצמו, ואילו בצד המחשב חייב המרבב לדמות את פעולת המסוף.



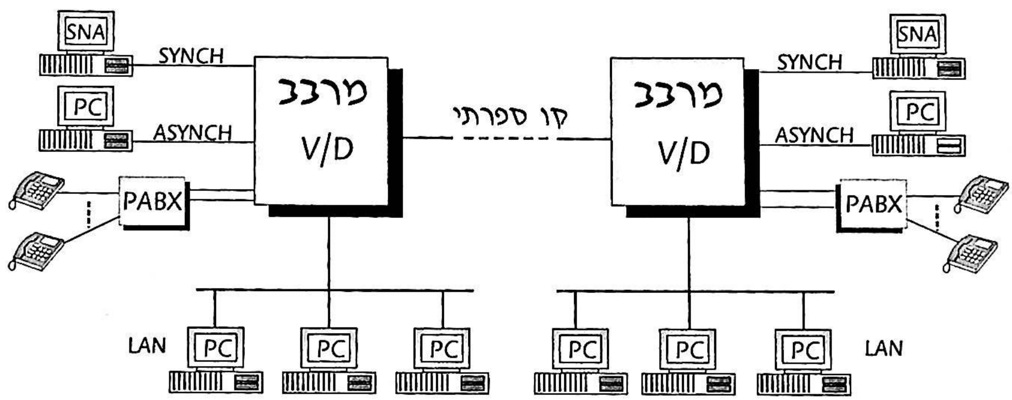
ציור 4.5 - מרבבים דוחסים

כדוגמה למרבבים סטטיסטיים סינכרוניים ("דוחסים") אפשר לקחת את משפחת מוצרי **TRIMLINK** של "רד", התומכים בשורה ארוכה של פרוטוקולים.

5. מרבבי דיבור / נתונים

מרבבי דיבור/נתונים יכולים לפעול בשיטת **TDM** (כמו ה- **KILOMUX** של "רד") או בשיטה סטטיסטית (כמו משפחת מרבבי "מרתון" של **MICOM**). ההבדל הוא בכך שבנוסף לממשקי הנתונים יש להם גם ממשקי דיבור, וניתן לחבר אותם ישירות לקו טלפון (מכשיר טלפון או מרכזית טלפון). בצורה כזאת

הם יכולים לרבב בצוותא קווי דיבור וקווי נתונים, ולשמש בסיס לרשת פרטית הפועלת על קווים סיפרתיים. רשת פרטית כזאת יכולה לחסוך לארגון כסף, מאחר וכל שיחות הטלפון בין הסניפים מנותבות דרך המרבבים ולא דרך רשת הטלפון הציבורית.



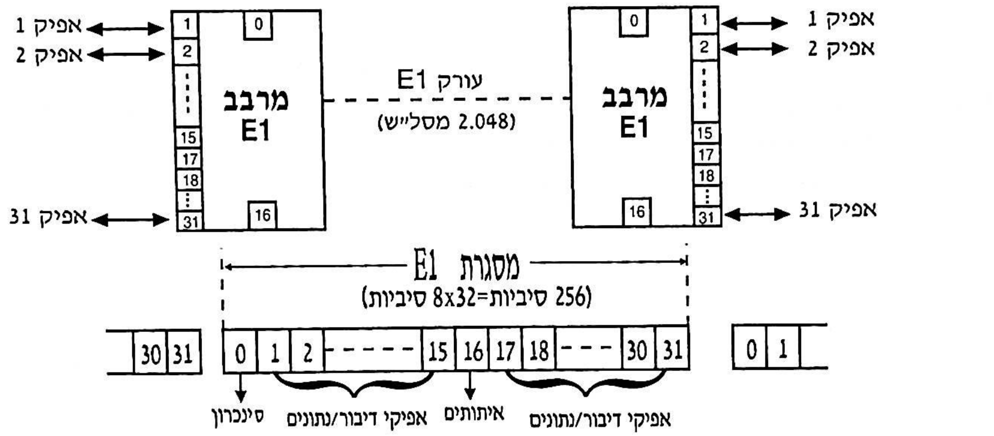
ציור 4.6 - מרבבי דיבור/נתונים

מרבבי דיבור/נתונים בנויים לרוב בצורה מודולרית ומסוגלים לתמוך במגוון ממשקים, כגון: סינכרוני, אסינכרוני, רשת מקומית (LAN), טלפון, פקס וכו'. חלקם יכולים לעבוד בתצורת כוכב, כך שניתן לבנות רשת פרטית קטנה ולהעביר עליה את כל צרכי התקשורת של הארגון.

6. מרבבי E1\T1

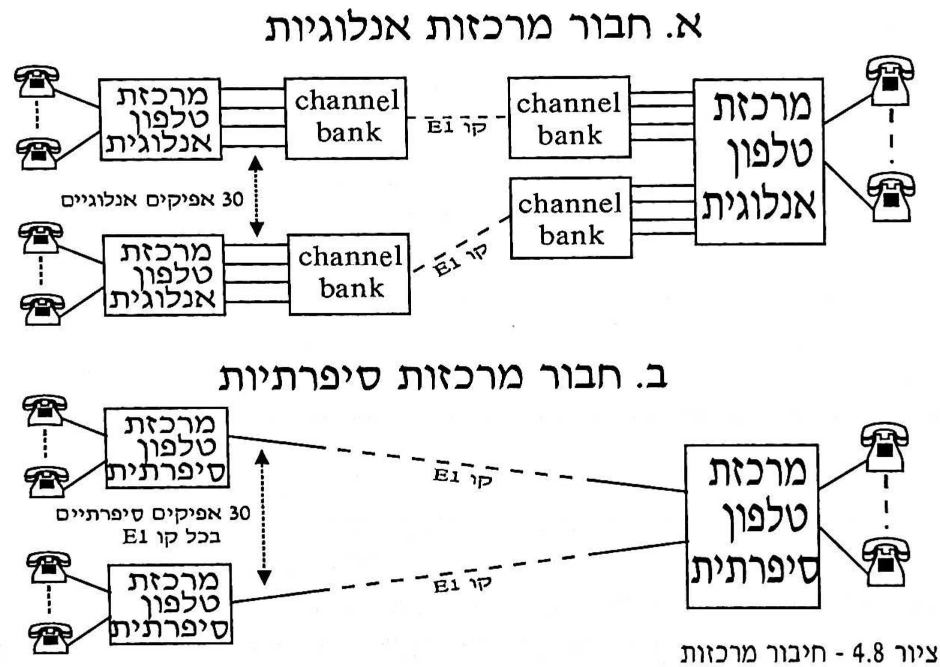
כל סוגי המרבבים שהוזכרו עד כה פועלים מבלי שקיים תקן, ולכן הם חייבים לעבוד בזוגות של מוצרים מאותו יצרן. מרבבי E1\T1, לעומת זאת, הם מרבבי דיבור/נתונים TDM תקניים, הנמצאים בשימוש נרחב בחברות הטלפון (Carriers) וגם בארגונים פרטיים.

מרבבי E1 תואמים לסדרת התקנים G.700 של ה-CCITT, והם נמצאים בשימוש באירופה, אפריקה וחלק ממדינות אסיה (כולל ישראל). אלה מרבבי TDM בעלי מסגרת של 32 אפיקים, וכל אפיק מכיל 8 סיביות. לכן מסגרת E1 מכילה 256 סיביות (ראה ציור 4.7). המסגרות משודרות בקצב של 8000 מסגרות לשנייה, ולכן אורך כל מסגרת הוא 125 מיקרושנייה, וקצב השידור הוא 2.048 מסל"ש (=256 x 8000).



ציור 4.7 - מבנה מסגרת E1

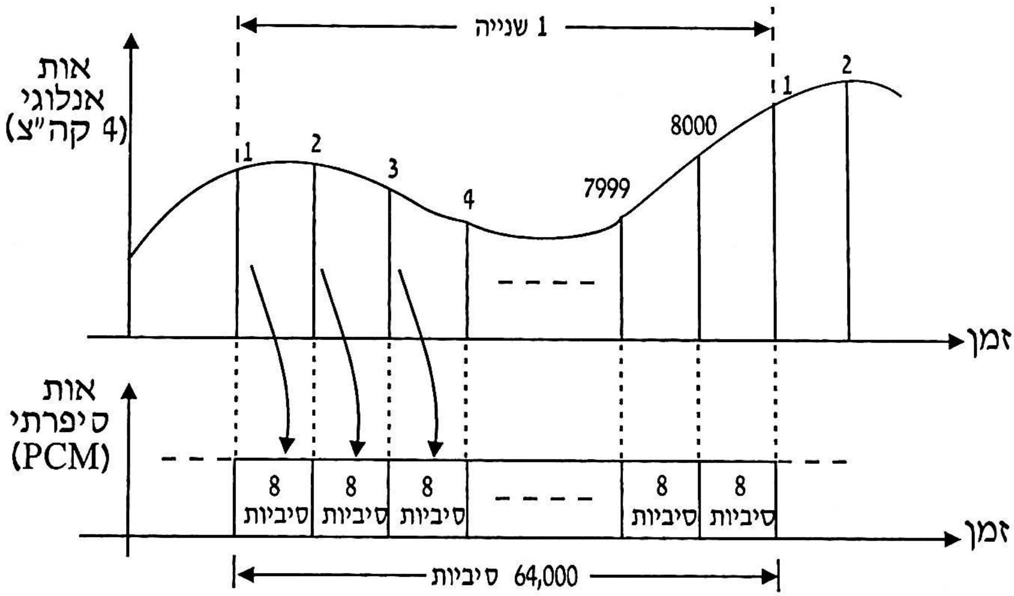
במרבב E1 אפיק מסי 0 מנוצל לסינכרון ואפיק מסי 16 מנוצל לאיתותים של אפיקי הדיבור, כך שרק 30 אפיקים מנוצלים להעברת מידע (כמוגדר בתקן G.704). אם כל האפיקים מנוצלים להעברת דיבור, המרבב נקרא בשם Channel Bank או מרבב PCM (Pulse Code Modulation). מרבבי דיבור כאלה שימשו בעבר לחיבור בין מרכזות טלפון אנלוגיות, אולם כיום המרכזות הן בעיקר ספרתיות וקווי החוץ שלהן כבר יוצאים בממשק ספרתי של E1 (כלומר 2.048 מסל"ש), כך שהצורך ב-Channel Bank הולך ופוחת (ראה ציור 4.8).



ציור 4.8 - חיבור מרכזות

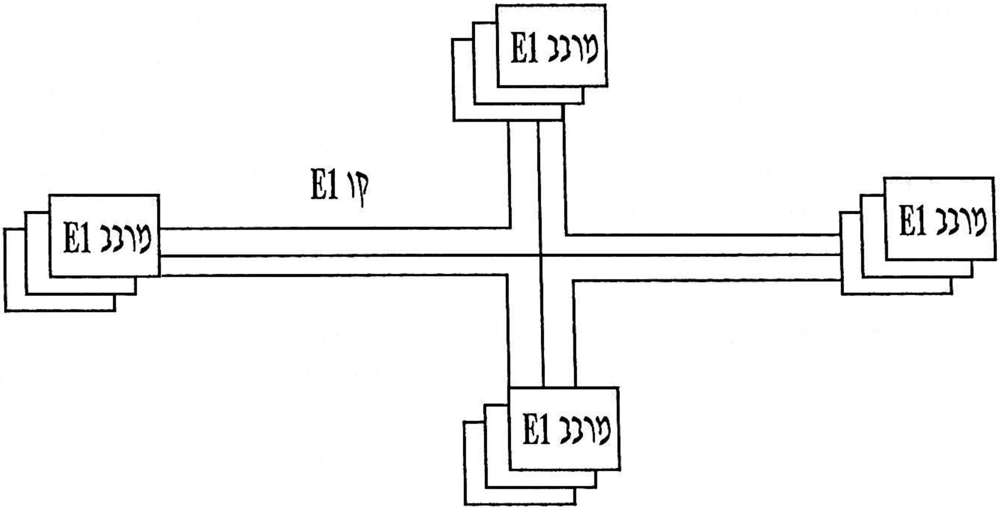
קצב שידור המסגרות (8000 לשנייה) נקבע לפי משפט הדגימה של נייקוויסט (ראה גם פרק ב' פסקה 4): **"קצב הדגימה של אות אנלוגי חייב להיות לפחות כפול מהתדר הגבוה ביותר של האות".**

ראינו שאפיק טלפון אינו יכול להעביר תדר הגבוה מ-4 קה"צ, ולכן בשיטת **PCM** נבחר קצב הדגימה (כמות המסגרות) ל-8000 לשנייה. כל אחד מאפיקי הטלפון האנלוגיים נדגם 8000 פעמים בשנייה, וכל דגימה מתורגמת ל-8 סיביות. במילים אחרות, האות האנלוגי של כל אפיק נהפך לאות ספרתי שווה-ערך, בעל רוחב סרט של 64 קסל"ש. קצב המוצא של המרבב הוא כאמור 2.048 מסל"ש (= 2048 קסל"ש) ואפשר לחשב אותו גם ע"י הכפלת קצב האפיק (64 קסל"ש) בכמות האפיקים במרבב (32). ציור 4.9 מתאר את עקרון הדגימה בשיטת **PCM**.



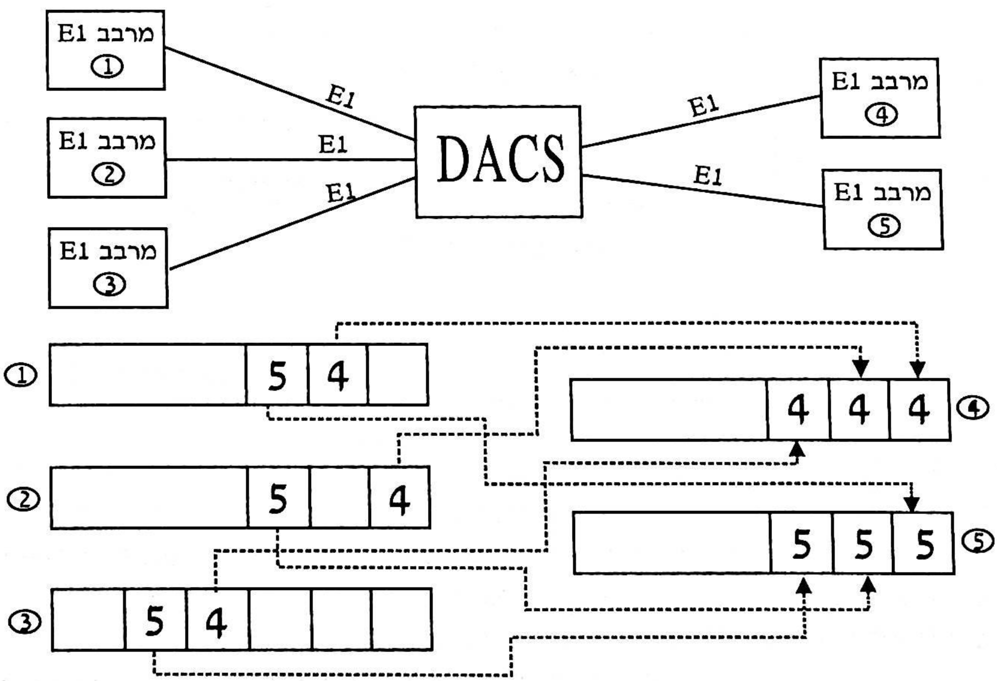
ציור 4.9 - דגימת אות אנלוגי בשיטת **PCM**

קיימים מרבבי **E1** מתקדמים יותר, שהם מודולריים ומסוגלים לרבב אותות דיבור ונתונים בקצבים וממשקים שונים. ע"י התקנת מודולים מתאימים, כל אפיק יכול לתמוך בממשק אנלוגי (טלפון/פקס) או ספרתי (כפולות של 64 קסל"ש). ניתן גם לרבב אפיקים בקצבים נמוכים יותר (כגון: 19.2/9.6 קסל"ש) ע"י שימוש במתאמים מיוחדים. ציור 4.10 מתאר חיבור מספר מרבבי **E1** לרשת, המסוגלת לספק שירותי דיבור ונתונים.



ציור 4.10 - רשת מרבבי E1

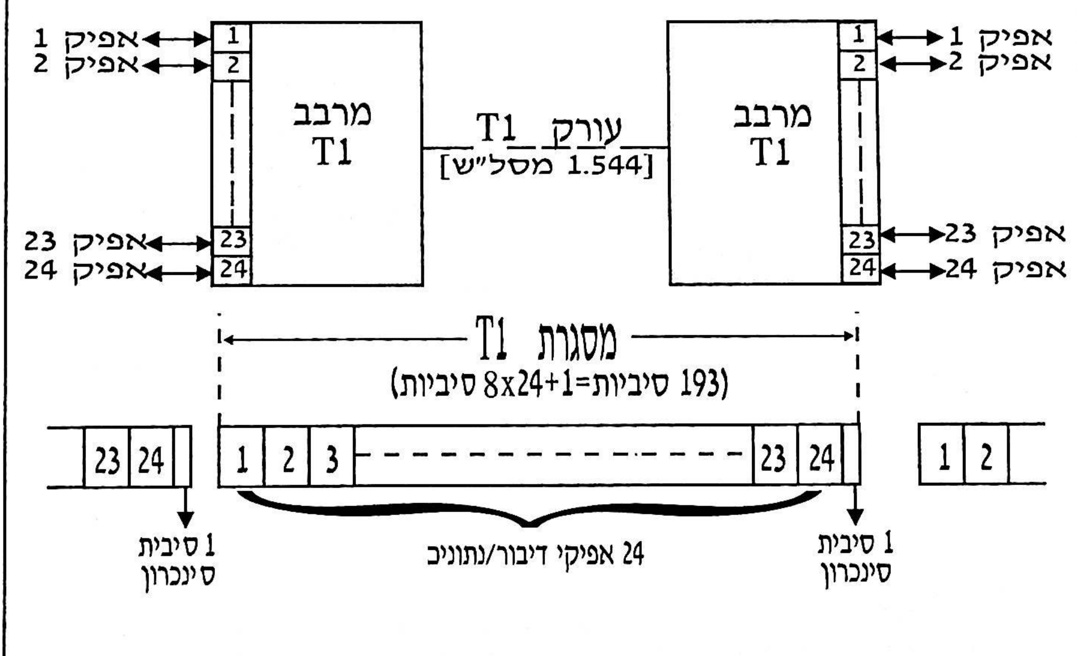
בציור 4.10 המרבבים עובדים בזוגות, וכל זוג מסונכרן ומחובר בקו E1. ברור שהגמישות של רשת כזאת היא נמוכה, ולכן משתמשים בנוסף באלמנט מיוחד הנקרא DACS לשיפור נצילות וגמישות הרשת (ראה ציור 4.11).



ציור 4.11 - השימוש ב-DACS

ה-DACS ‏(Digital Access Cross-Connect) מקבל קווי E1 ממרבבים שונים או ממרכזות ספרתיות, ויוצר קווי E1 חדשים בעלי הרכב שונה של אפיקים. נניח שמרבב מס' 1 משדר מסגרת שבה אפיק מסוים מיועד תמיד למרבב מס' 4, ואפיק אחר למרבב מס' 5. מרבב מס' 2 משדר מסגרת שבה שני אפיקים מיועדים למרבבים 4 ו-5, ובצורה דומה גם מרבב מס' 3 מיעד אפיקים מסוימים למרבבים מס' 4 ו-5. ה-DACS יקח את כל האפיקים שנועדו למרבב מס' 4, יבנה מסגרת חדשה הכוללת את כל האפיקים האלה ויפנה אותה למרבב מס' 4. בצורה כזאת כל מרבב יכול לשלוח בתוך מסגרת אחת מידע למרבבים שונים, וה-DACS מנתב מידע זה ליעדו. ה-DACS מבצע את הניתוב בצורה סטטית ע"י שימוש בטבלאות שהוכנו לו מראש, ויש לשים לב להבדל בינו לבין מרכזייה רגילה המבצעת את הניתוב באופן דינמי.

מרבבי E1, כאמור לעיל, נמצאים בשימוש באירופה ובעוד מדינות. לעומת זאת, בארה"ב (וכן ביפן ובמדינות נוספות) משתמשים בתקן הנקרא T1 (ראה ציור 4.12).



ציור 4.12 - מבנה מסגרת T1

מסגרת T1 מכילה 24 אפיקים, שכל אחד מהם הוא בעל 8 סיביות, ובנוסף סיבית סינכרון, כך שאורכה הכולל של המסגרת הוא 193 סיביות. המסגרות משודרות בקצב של 8000 לשנייה (כמו קצב המסגרות של E1) ולכן גם כאן אורך המסגרת הוא 125 מיקרושנייה. קצב השידור הכולל הוא 1.544 מסל"ש, המתקבל מהכפלת אורך המסגרת (193 סיביות) בקצב המסגרות (8000 לשנייה). כמו במקרה של E1, גם כאן כל אפיק יכול להיות אנלוגי או ספרתי. האפיק הספרתי פועל בקצב 64,000 סל"ש (8 סיביות x 8000 מסגרות לשנייה), וניתן להשתמש בכל 24 האפיקים. במרבבי T1 האיתותים אינם "גוזלים" אפיק (כפי שהדבר נעשה במרבבי E1) אלא מועברים בצורה אחרת.

קווי **T1** מאוד נפוצים בארה"ב וקנדה, וחברות יכולות לשכור קווים כאלה ולהקים רשתות פרטיות, כולל גם רשתות בינל"א. השימוש ברשתות דיבור/נתונים פרטיות מביא בדרך-כלל לחיסכון כספי גדול ולשליטה של הארגון על הרשת שלו.

7. סכום פרק ד'

בפרק זה הכרנו את סוגי המרבבים ואת יישומיהם השונים:

- מרבבי **TDM** מספקים הקצאה קבועה של רוחב-סרט לאפיקים השונים ולכן הם מתאימים ליישומים הדורשים רוחב-סרט קבוע ורציף ובעל השהייה נמוכה. לדוגמה: מרכזות הטלפון של "בזק" מחוברות ביניהן במרבבי **TDM** מיוחדים, בטכנולוגיה הנקראת **PCM**. במרבבי **TDM** קיבול הקו חייב להיות גדול או שווה לסכום קיבולי האפיקים.

- מרבבים סטטיסטיים מקצים את רוחב-הסרט של קו התקשורת בצורה דינמית, בהתאם לביקוש של המקורות. הם מתאימים לעבודה אינטראקטיבית, הכוללת הפסקות רבות שבהן רוחב-הסרט מוקצה למקורות אחרים.

- מרבבי דיבור/נתונים המתאימים לבניית רשתות פרטיות לארגונים.

- מרבבי **E1\T1** תקניים הנמצאים בשימוש חברות הטלפונים, וכן ה-**DACS** המשמש לניתוב סטטי ביניהם.

פרק ה' - מיתוג מנות

1. טכנולוגיית מיתוג מנות (Packet Switching)

בפרק הקודם ראינו איך אפשר בעזרת מרבבים מסוגים שונים לנצל קו תקשורת אחד לצורך העברת כמה מקורות בעת ובעונה אחת. המרבבים חוסכים אמנם קווי תקשורת אך יש להם מספר חסרונות:

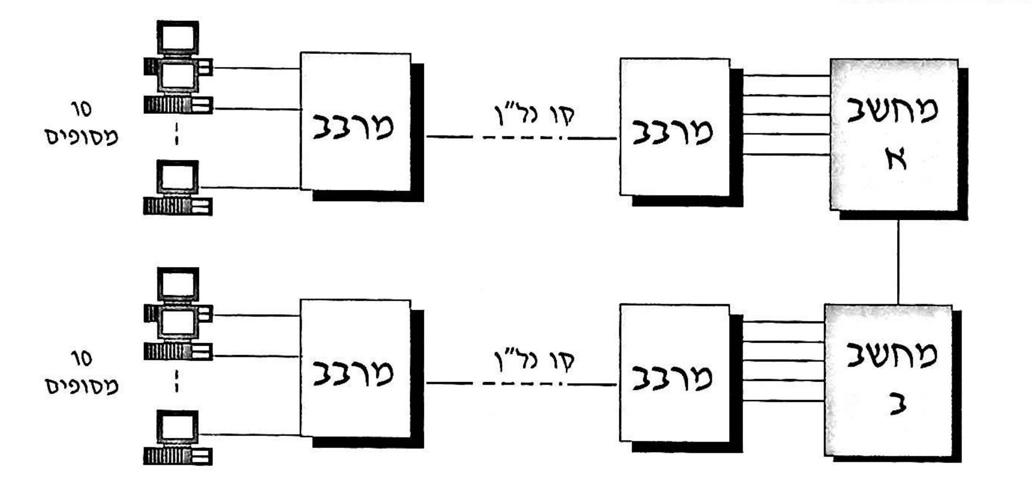
- פרוטוקול התקשורת בין ה- PC לבין המרבב הוא תקני (לדוגמה EIA-232), אולם בין המרבב לבין המרבב הנגדי הפרוטוקול הוא פרטי. משמעות הדבר שאין אפשרות לחבר מרבבים של יצרנים שונים זה מול זה, וחייבים לרכוש את שני המרבבים מאותו יצרן.

  הערה: קיימים מרבבי TDM תקניים (כגון מרבבי E1/T1 שתוארו בפרק הקודם), אך הם שונים ממרבבי הנתונים שבהם אנו דנים כאן.

- המרבבים פועלים תמיד בזוגות על קווי נל"ין (האחד מול השני) ואין אפשרות לבנות בעזרתם רשת, שבה יוכל כל משתמש לפנות למחשב אחר לפי הצורך. PC המחובר למבוא של מרבב מסויים מנותב תמיד למבוא המקביל של המרבב הנגדי. קיימים אמנם מרבבים המסוגלים ליצור רשתות קטנות (כגון: משפחת מרבבי "מרתון"), אך גם בהן יכולת המיתוג היא מוגבלת ואינה תקנית.

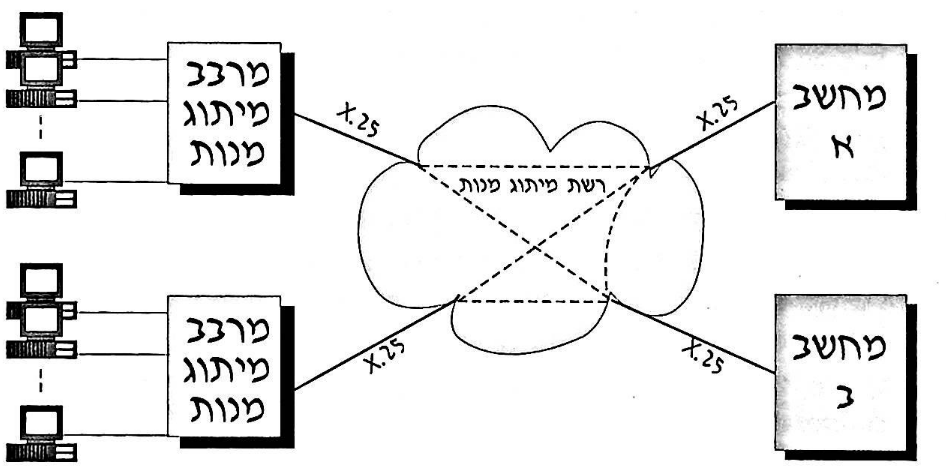
- לפרוטוקול שבין המרבבים חסר מרכיב האיתות (Signalling) שבעזרתו יכול מרבב מסויים להודיע לרשת בזמן אמיתי מיהו המקור המבקש שירות, ולאיזו כתובת ברשת לשלוח את המידע של המקור הזה. ברור מאליו שיש לבנות רשת המסוגלת להבין את האיתותים של המרבבים, ומסוגלת לנתב את המידע לכתובות השונות של הרשת.

טכנולוגיית מיתוג מנות (Packet Switching) נועדה לאפשר קישוריות תקנית של ***"כל אחד לכל אחד"*** בעולם הנתונים, כפי שרשת הטלפונים עושה בתחום הדיבור והמודמים. כדי להבין את היתרונות של מיתוג מנות, ניקח כדוגמה רשת קטנה המורכבת משני מחשבים, שלכל אחד מהם יש 10 מסופים מרוחקים, המחוברים בעזרת מרבבים (TDM או סטטיסטיים).



ציור 5.1 - רשת הבנוייה ממרבבים

לכל מחשב נדרשים שני מרבבים (אחד בכל צד), ו- 11 מבואות תקשורת (10 מול המרבב ואחד מול המחשב השני). מסוף מסויים מחובר תמיד מול מחשב אחד (בהנחה שהמרבבים אינם בעלי יכולת מיתוג), ואם המפעיל רוצה להתחבר למחשב השני עליו להתנתק מהמרבב שלו ולהתחבר פיזית למרבב השני, או לעבור דרך מחשב א׳ למחשב ב׳ (תהליך המעמיס ללא צורך את המחשבים ומוסיף השהייה). אותה מערכת המחוברת ברשת מיתוג מנות תיראה כמו בציור 5.2:



ציור 5.2 - רשת מיתוג מנות

כל האלמנטים (מחשבים ומרבבים) מתחברים לרשת מיתוג מנות בממשק (מבוא) **אחד**, והם חייבים לדבר עם הרשת בפרוטוקול **תקני** (הנקרא X.25). הפרוטוקול מאפשר איתותים בין האלמנטים לבין הרשת וכך יכול כל מסוף להתקשר לכל מחשב, וכן המחשבים יכולים להתקשר ביניהם ברשת. רשת מיתוג מנות

היא "ענן", שבו יכול כל אלמנט לשדר מנות (בתוך מסגרות) לכל אלמנט אחר, תוך שימוש **בממשק אחד לרשת.**

יכולתו של המחשב להתקשר לרשת בפרוטוקול **X.25** תוך שימוש במבוא בודד, משמעותה חסכון כספי בכמה מישורים:

- חסכון במבואות **(Ports)** של המחשב: בדוגמה שלנו נחסכו 10 מבואות מחשב, וזאת דוגמה פשוטה. ברשתות גדולות ניתן לחסוך מאות מבואות וכרטיסי מחשב.
- אין צורך במרבבים בצד המחשב: בדוגמה שלנו נחסכו שני מרבבים, וברשתות גדולות החיסכון משמעותי מאד.
- כתוצאה מהנ"ל נחסכים ארונות תקשורת, כבלים, מחברים, התקנות, שטח רצפה, מיזוג אוויר וכו'.
- אין צורך בקווי נל"ן וניתן להשתמש ברשתות מיתוג מנות צבוריות.

(**הערה:** גם אם המרבבים בדוגמה לעיל (ציור 5.1) היו בעלי יכולת מיתוג, עדיין קיים החיסכון במעבר לרשת **X.25**).

2. קצת היסטוריה

טכנולוגיית מיתוג מנות החלה להתפתח בסוף שנות ה- 60 ותחילת שנות ה- 70, כפתרון לחיבור תקני של מסופים אסינכרוניים רחוקים למחשבים. רשת הטלפון היתה באותה תקופה אנלוגית והקווים היו מאוד רועשים ובלתי אמינים. לכן היה צורך במרבב סטטיסטי, בעל יכולת פעולה על קווים רועשים, והתקשרות לרשת בממשק תקני, כולל איתותים. בשנת 1969 הוקמה בארה"ב רשת מיתוג המנות הראשונה **(ARPANET)** ע"י משרד ההגנה האמריקאי **(DOD)**, שהשתמש בה לקישור כל מוסדות המחקר, הפיתוח והייצור הצבאיים. הרשת גדלה בהתמדה וכיום היא נחשבת לרשת המחשבים הגדולה בעולם (אינטרנט). מאז קמו רשתות מיתוג מנות נוספות ברחבי העולם, לדוגמה: **TELENET** (ארה"ב) בשנת **1976**, **DATAPAC** (קנדה) בשנת **1977**, **TRANSPAC** (צרפת) בשנת 1978 ו- **DDXP** (יפן) בשנת 1978. בישראל הוקמה בשנת 1983 רשת "ישראנת", ורשתות דומות קיימות ברוב המדינות בעולם.

רשת **ARPANET** פעלה בשיטת **DATAGRAM**, שבה כל מנה מנותבת ברשת באופן בלתי תלוי במנות האחרות של אותה ההודעה. כל צומת הקולטת מנה כזאת, מחליטה על סמך קריטריונים מקומיים/רגעיים לאיזו צומת אחרת יש לנתב את המנה. לכן, מנות השייכות לאותה הודעה, יכולות לנוע במסלולים שונים, ולהגיע לכתובת היעד בסדר שונה ובהשהיות שונות. על צומת היעד לבנות מחדש את ההודעה בשלמות על פי המספרים הסידוריים של המנות.

שיטת **DATAGRAM** מבטיחה תקשורת חסינה וניצול אופטימלי של עורקי הרשת, ולכן היא התאימה במיוחד לישומים צבאיים/בטחוניים. אולם חסרונה הוא בצורך במערכת ניתוב מאוד מורכבת, שתפקידה לדאוג לכך שמנות לא "יסתובבו" בין צמתי הרשת. הסיבוך הגבוה של שיטת מיתוג זאת גרם לכך שבמשך

השנים התפתחה שיטת מיתוג מנות חלופית, שהיא היום נפוצה יותר, והיא שיטת **"המסלולים המדומים"** **(VC = Virtual Circuits)**.

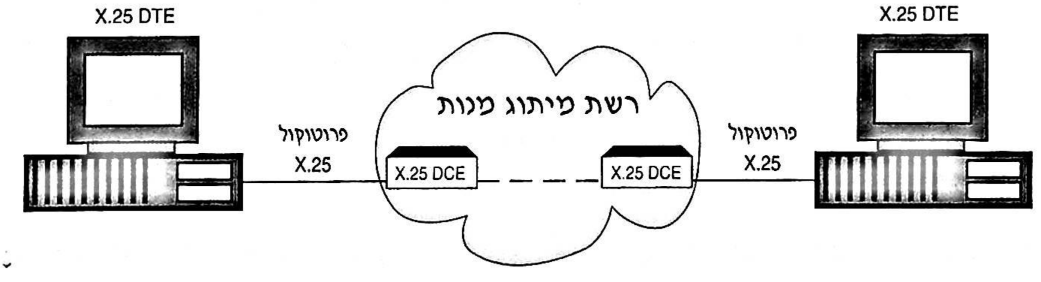
בשיטת "המסלולים המדומים" מגדירים לפני תחילת ההתקשרות מסלול מדומה (VC) בין המנוי היוזם למנוי הנקרא, ודרך מסלול זה עוברות כל המנות. התהליך דומה לשיטת ההתקשרות הטלפונית ובמינוח טכני הוא נקרא: **Connection-Oriented Service**. שיטת ה-**DATAGRAM** היא דוגמה לתהליך תקשורת **שאינו** דורש הגדרת מסלול לפני יצירת הקשר, ולכן השיטה נקראת **Connectionless Service**. בהמשך נראה שגם רשתות מקומיות (**LAN**) עובדות בשיטת ה-**DATAGRAM**.

בשנת 1974 פורסם ע"י ה- **CCITT** (ארגון תקינת התקשורת הבינלאומי, הנקרא כיום **ITU-T**) התקן הראשון למיתוג מנות, שנקרא **X.25**. התקן עודכן מספר פעמים והוא ממשיך להתעדכן גם היום בהתאם לצרכים המשתנים. כיום התקן **X.25** תומך לא רק במקורות אסינכרוניים (כפי שהיה בתחילה) אלא גם בפרוטוקולים סינכרוניים שונים כגון **BSC** ו- **SNA**, כך שניתן להשתמש במיתוג מנות כתשתית להרבה מערכות מחשוב. מרבית יצרני המחשבים תומכים כיום בפרוטוקול **X.25** ומספקים ממשקים סטנדרטיים בפרוטוקול **X.25** (**HP, DEC ,IBM**, ועוד). אפשר גם להשיג כרטיסי **PC** התומכים בפרוטוקול **X.25**, ובכך להפוך את ה- **PC** לתחנת **X.25** ישירה (ללא צורך התחברות דרך מרבב).

3. רשת מיתוג מנות

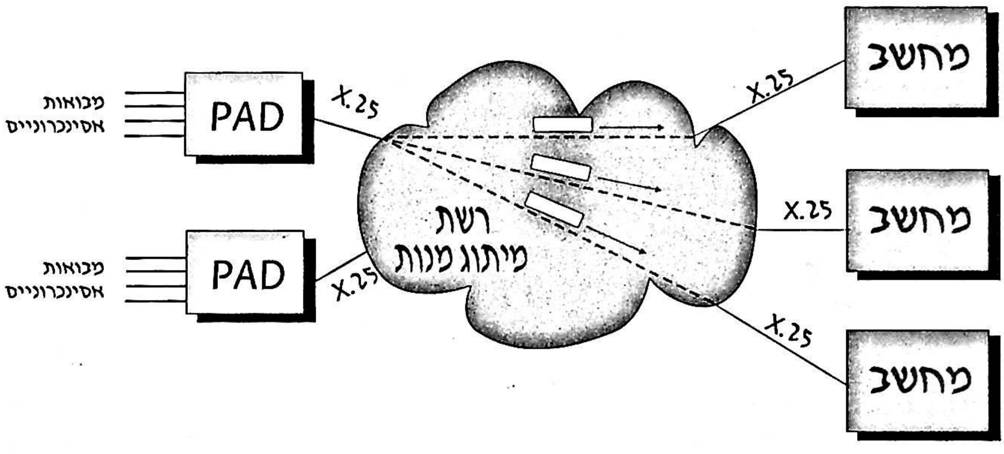
כפי שתואר קודם, לרשת מיתוג מנות יכולים להתחבר רק מחשבים או מרבבים ש"מדברים" בפרוטוקול **X.25**. חשוב לציין כי פרוטוקול **X.25** מגדיר אך ורק את תהליך התקשורת בין ציוד קצה **X.25** (הנקרא גם **X.25 DTE**, או **Packet Mode DTE**) לבין רכזת **X.25** הקשורה אליו (**X.25 DCE**). אולם הפרוטוקול אינו מתייחס כלל לתהליך הניתוב ***בתוך ה "ענן"***.

הערה: ראה פרק ב' סעיף 1 להגדרת המושגים **DTE** ו- **DCE**.



ציור 5.3 - הגדרת פרוטוקול **X.25**

מרבב מיתוג מנות נקרא PAD (Packet Assembler/Disassembler), וגם הוא כמובן X.25 DTE. הוא הופך את התקשורת האסינכרונית המתקבלת מהמסופים (או ה- PC) למנות קצרות (Packets) המכילות בדרך כלל 128 בתים, שהתקבלו ממסוף מסויים. כמות בתי המידע בכל מנה יכולה להגיע עד למקסימום של 4096 בתים, והיא נקבעת בזמן הקמת הקשר (תהליך Call set-up). המידע האסינכרוני המגיע מכל מבוא נאגר בזכרון (Buffer) ב- PAD, ומשוגר לרשת כאשר התמלא אחד התנאים המוסכמים (כגון: הזכרון התמלא, עבר פרק זמן מינימלי או התקבלה פקודת שיגור מהמפעיל). ברגע זה ה- PAD "אורז" את המידע שנאגר לתוך מנה (Packet), הכוללת בהתחלה עוד 3 בתים (הנקראים כותרת המנה - Packet Header). ה-PAD מבצע בעצם פונקציה של ריבוב - סטטיסטי, מאחר והוא משדר מנות רק כאשר יש מידע באפיקים. ההבדל בינו לבין מרבב סטטיסטי הוא שידור המידע במנות לפי תקן X.25, והאפשרות להפנות כל מנה למחשב אחר.



ציור 5.4 - פעולת ה-PAD

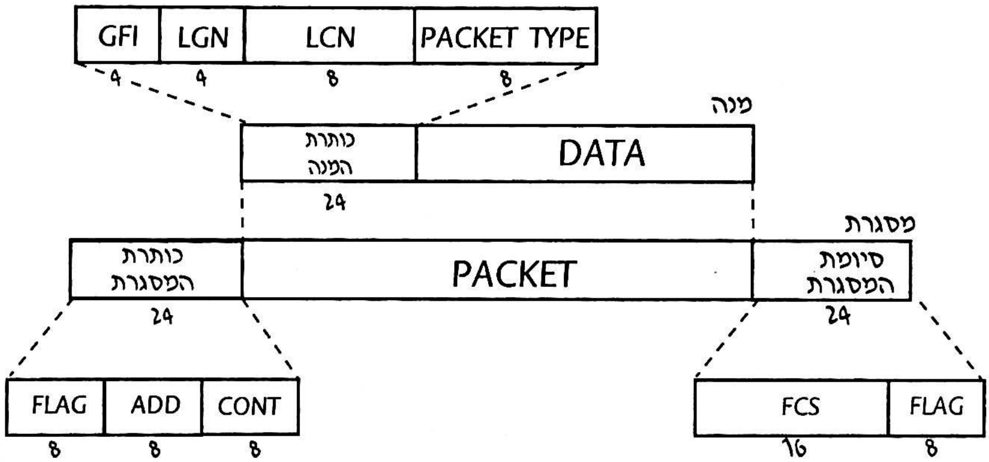
"כותרת המנה" מכילה את האינפורמציה הנחוצה לניתוב המנה ברשת והגעתה בצורה אמינה ליעד. הכותרת כוללת את "מספר הערוץ הלוגי" (Logical Channel Number - LCN), שנבחר ע"י ה- PAD מתוך 4096 אפשרויות קיימות. זהו מספר שיוצמד לכל המנות המשוייכות לשיחה (Session) של מבוא מסויים, וברור שמבוא אחר המשדר באותו זמן דרך ה- PAD יקבל מספר ערוץ לוגי אחר. ה- LCN יכול להשתנות במעבר דרך רכזות המיתוג השונות ברשת, ובזמן הקמת הקשר נרשמים בכל הרכזות בטבלאות מיוחדות הקשרים בין מספרי הערוצים (נכנסים ויוצאים). ה- LCN בקטע האחרון נקבע ע"י רכזת המיתוג האחרונה. כדי למנוע התנגשויות בין מספרי LCN נקבע הכלל שערוץ יוצא יקבל את המספר הגבוה ביותר הפנוי, וערוץ נכנס יקבל את המספר הנמוך ביותר.

המנה (Packet) הכוללת את 3 בתי כותרת המנה, מוכנה כעת למשלוח, והיא "נארזת" בתוך מעטפה נוספת הנקרא "מסגרת" (Frame). בשלב הזה מוסיפים למנה 3 בתים בתחילה (כותרת המסגרת) ועוד 3 בתים בסיום (סיומת המסגרת).

בממשק שבין ה-DTE וה-DCE עוברות מסגרות רבות, שלכל אחת מהן יש מספר LCN מסוים הכלול בכותרת המנה. אפשר לכן לראות את מנגנון מיתוג המנות כמרבב סטטיסטי של ערוצים לוגיים, לצורך חיסכון ברוחב סרט. תקן X.25 מאפשר לרבב עד 4,096 ערוצים לוגיים על ממשק DTE/DCE אחד, ולכן אפשר להעביר תעבורה של הרבה מסופים איטיים על קו תקשורת מהיר אחד.

4. מבנה המסגרת והמנה

ציור 5.5 מתאר את מבנה המסגרת והמנה.



ציור 5.5 - מבנה המסגרת והמנה

המסגרת בנויה לפי פרוטוקול שנקרא LAP-B (Link Access Procedure ,Balanced), שהוא נגזרת של פרוטוקול HDLC שהוגדר ע"י אגוד התקינה הבינלאומי ISO (ראה פירוט בפרק ג'). פרוטוקול LAP-B עובד נל"ין (Point-To-Point) בין DTE ו-DCE, והמונח Balanced (מאוזן) מציין שהבקרה על קו התקשורת יכולה להתבצע על ידי ה- DTE או ע"י ה- DCE. תפקיד המסגרת הוא לוודא שהמנה שבתוכו תגיע בשלמות לצומת הבאה, ולכן הוסיפו את השדה FCS שהוא מנגנון תקון שגיאות. בתהליך יצירת המסגרת מוסיפים את ה- FCS, המחושב בצורה מתמטית לפי הרכב הסיביות במסגרת. בהגיעו לרכזת הבאה של הרשת מחושב ה- FCS מחדש לפי הרכב הסיביות שנקלט, ואם הוא זהה ל- FCS ששודר, הרכזת מחליטה שהמסגרת נקלטה בסדר ומאשרת קבלתה. במידה והמסגרת נקלטה שגויה (לפי קריטריון FCS) הצד הקולט אינו מאשר ומבקש שידור חוזר.

להלן תיאור קצר של השדות ותפקידם העיקרי (השווה עם פיסקה 3 בפרק ג׳):

4.1 שדות המסגרת (Frame) (ראה ציור 5.5)

- **FLAG** - צירוף קבוע של 8 סיביות (1 בית) שהוא 01111110 (7E בכתיב הקסאדצימלי), המשודר בתחילה ובסיום של כל מסגרת. (הערה: כדי למנוע טעויות, פרוטוקול X.25 מחייב להוסיף ״0״ אחרי כל חמישה ״1״ עוקבים, ולסלק אותו בצד הקולט).

- **ADDRESS** - מכיל כתובת בעלת 8 סיביות: A = 00000011 (03 בכתיב הקסאדצימלי לסימון תקשורת שהחלה ביוזמת ה-DCE - אם ה-DCE (ציוד הרשת) פנה ל-DTE (ציוד הקצה), או ה-DTE הגיב ל-DCE; B=00000001 (01 בכתיב הקסאדצימלי) אם ה-DTE פנה ל- DCE, או ה- DCE מגיב ל- DTE (הקמת הקשר ביוזמת ה-DTE).

- **CONTROL** - שדה בעל 8 או 16 סיביות המגדיר את סוג המסגרת:

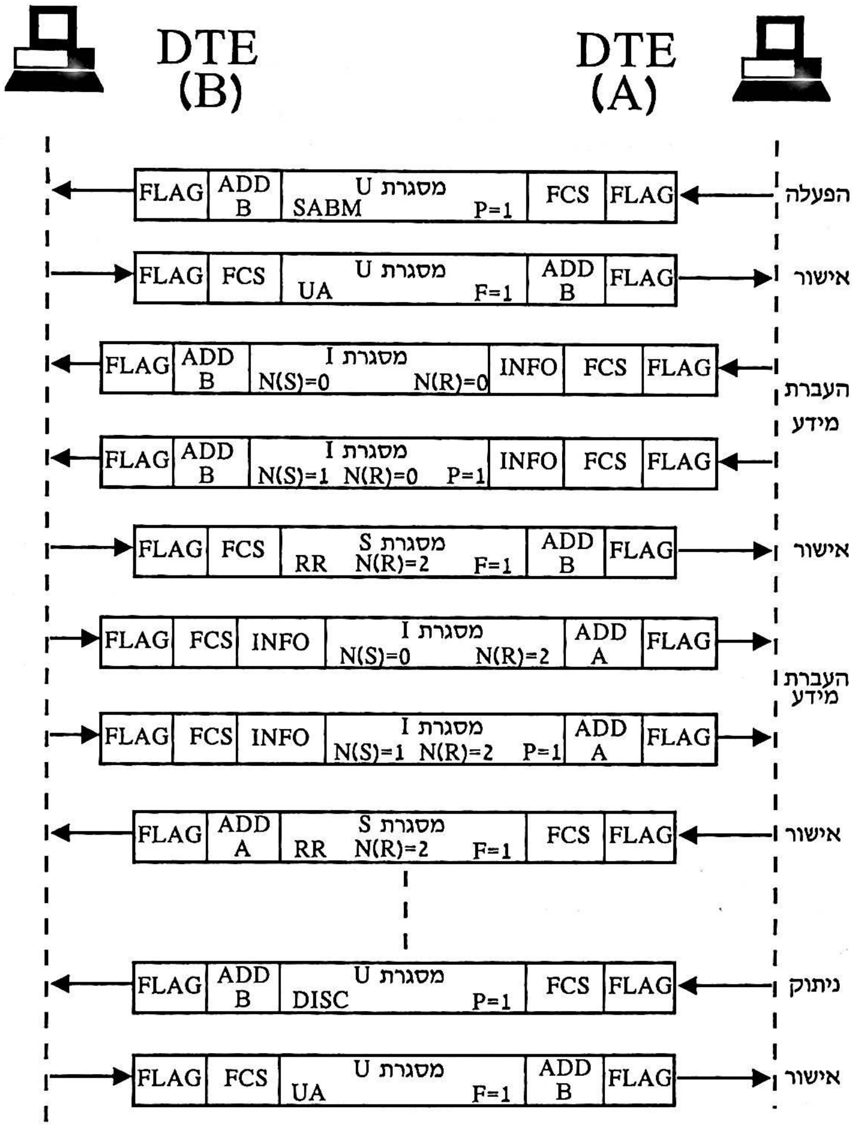
מסגרת מידע (I) ובה ספרור מסגרות השידור N(S) והקליטה N(R), שתפקידם לבדוק את רציפות קליטת המסגרות. הספרור הרגיל הוא עד 7 (3 סיביות), אולם ניתן גם לספרר את המסגרות עד 127 (במקרים כאלה שדה CONTROL יהיה בעל 16 סיביות).

מסגרת בקרה (S) המבצעת פונקציות של בקרת קו התקשורת, כגון: RR = המקלט מוכן, RNR= המקלט לא מוכן וכו׳. פונקציות אלה נקראות ״בקרת זרימה״ (Flow Control) ובאמצעותן יכול הצד הקולט לשלוט על כמות התנועה המשודרת מהצד השני.

מסגרות לא מסופררות (U) - מכילות פונקציות בקרה נוספות, כגון: הפעלת קו התקשורת (SABM), או ניתוקו (DISC).

- **FCS** - שדה בעל 16 סיביות המכיל את ה- CRC המחושב לצורך תיקון שגיאות.

התרשים הבא (ציור 5.6) מתאר תהליך תקשורת ברמת המסגרת, כלומר בקו תקשורת מסוים. התהליך מתחיל בהפעלת הקו (SABM), העברת הנתונים ולבסוף - ניתוק הקו (DISC). השווה ציור זה עם פיסקה 5 בפרק ג׳, ושים-לב לשימוש בכתובות A ו-B, ספרור המסגרות והשימוש בסיבית P/F. גם כאן האתחול והניתוק מבוצעים במסגרות U, וכל האישורים משתמשים במסגרות S.



ציור 5.6 - תהליך תקשורת ברמת המסגרת

4.2 שדות המנה (Packet) (ראה ציור 5.5)

- GFI - 4 סיביות בקרה (לא נדון בהן כאן).
- LGN - 4 סיביות המייצגות קבוצה (Group) של ערוצים לוגיים (LCN); בסך הכל יש 16 קבוצות.
- LCN - 8 סיביות המייצגות 256 ערוצים לוגיים שונים, היכולים להימצא בכל אחת מ- 16 קבוצות LGN. בכל ממשק יכולים להיות עד 4,096 ערוצים לוגיים.

8 הסיביות הבאות נקראות PACKET TYPE והן יכולות להיות מסוג ID (במנות של בקרה), או מסוג SN (במנות של מידע):

- **ID** - מגדיר את סוג המנה: Call request, Clear request, Confirmation וכו'.

- **SN** - מגדיר את הספרור (Sequence Numbers) של מנות השידור והקליטה, בדומה לספרור של המסגרות המבוצע בשדה CONTROL. שים לב שברמת **המסגרת** מבצעים ספרור ובדיקת רציפות של מסגרות בכל קו תקשורת (בין DTE ו- DCE), הכוללות מנות המשתייכות לערוצים לוגיים שונים. ברמת **המנה** מבצעים בדיקה דומה, אבל ספרור המנות מתייחס לערוץ לוגי מסוים.

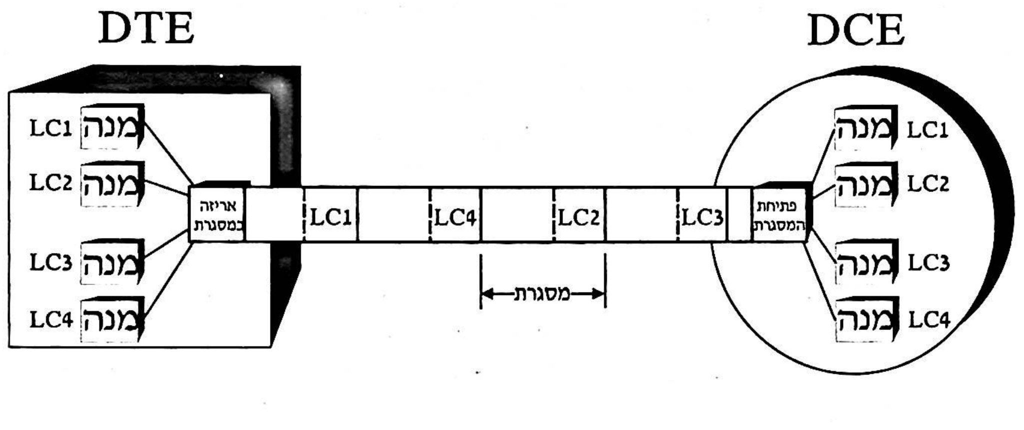
5. חלוקת הפעולה לרמות

אפשר לסכם ולאמר שה- PAD הופך תקשורת אסינכרונית (או סינכרונית) למסגרות תקניות בפרוטוקול X.25 (וכמובן גם בכיוון ההפוך). הוא עושה זאת ב- 3 שלבים:

א. שלב איסוף התווים מכל מבוא, אריזתם לתוך "מנה" (Packet) והוספת נתוני ניתוב ברשת - מספר ערוץ לוגי (LCN), ספרור מנות השידור והקליטה וכו'. הספרור בשלב הזה מתייחס לכל המנות בעלות אותו LCN, כלומר המשתייכות לאותה "שיחה".

ב. שלב אריזת ה"מנה" ב"מסגרת" (Frame) לצורך שיגורה למתג מיתוג המנות הקרוב, הוספת שדה תקון שגיאות (FCS), ספרור ובדיקת המסגרות בכל קו תקשורת, טיפול בבקרת זרימה (ראה סעיף 4.1) ואם נדרש - גם שידור חוזר. הספרור בשלב הזה מתייחס לכל המסגרות החולפות בקו התקשורת, הכוללות ערוצים לוגיים שונים. במילים אחרות, לכל מסגרת יש ספרור שוטף בהתאם לפרוטוקול HDLC/LAP-B, ובנוסף לכך לכל מנה בתוך המסגרת יש ספרור משלה, לפי הערוץ הלוגי המתאים.

ג. שלב השידור הפיזי - בעזרת סיביות בעוצמה נתונה, מחברים תקניים (כגון EIA-232) ושמוש בפינים של המחבר בהתאם לדרישות התקן.



ציור 5.7 - בניית המסגרת

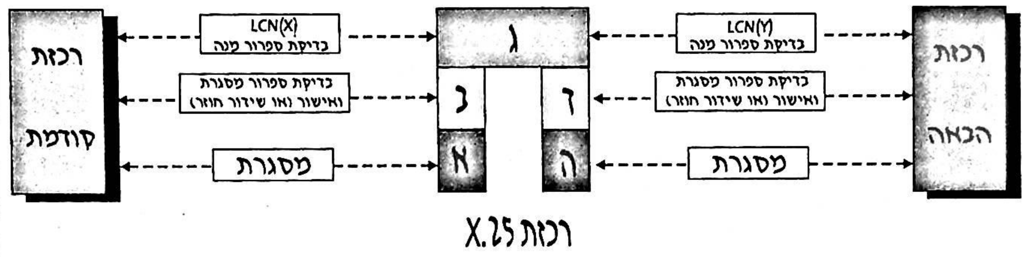
העבודה במספר שלבים בפרוטוקול **X.25**, כאשר כל שלב מבצע את תפקידו ללא קשר ליתר השלבים, נתנה את הדחיפה להגדרת מודל 7 השכבות של ה- **OSI** שעליו נדבר באחד הפרקים הבאים.

העבודה ב- 3 שלבים (3 "רמות" במינוח **ITU**; 3 "שכבות" במינוח **ISO**) מתבצעת גם בכל רכזת מיתוג ברשת (ראה ציור 5.8):

א. תחילה הרכזת קולטת את **הסיביות** (רמה ראשונה).
ב. אוגרת את **המסגרת**, בודקת את הספרור ותקינות המסגרת [**N(S)** ו-**N(R)** בשדה **CONTROL**], שולחת אישור קבלה או דורשת שידור חוזר במידת הצורך ומטפלת בבקרת זרימה (רמה שניה).
ג. בודקת את ספרור **המנה** בשדה **SN** ומחליטה על המשך הניתוב מערוץ **LCN(X)** לערוץ **LCN(Y)** (רמה שלישית).
ד. בונה **מסגרת** חדשה (הכוללת שדה **FCS** חדש), מספררת אותה מחדש [בשדות **N(S)** ו-**N(R)**] ואוגרת את המסגרת באופן זמני עד קבלת אישור מהרכזת הבאה (רמה שניה).
ה. לבסוף הרכזת משדרת את **סיביות** המסגרת החדשה לכיוון רכזת המיתוג הבאה (רמה ראשונה).

אפשר לאמר שהרמה הראשונה מטפלת בסיביות, הרמה השניה - במסגרות, והרמה השלישית - במנות. כל רמה פועלת לפי פרוטוקול תקני:

- הרמה הראשונה: **EIA-232**
- הרמה השניה: **LAP-B**
- הרמה השלישית: **X.25 PLP (Packet Layer Protocol)**.



ציור 5.8 - החלוקה ל-3 רמות

שים לב, שבכל רכזת מיתוג, המסגרת נאגרת בשלמותה ומבוצעים עליה תהליכי עיבוד, הן ברמה השנייה (סעיפים ב' ו-ד' לעיל) והן ברמה השלישית (סעיף ג'). המסגרת נמחקת מהרכזת רק לאחר שנתקבל אישור מהרכזת הבאה, כי המסגרת הגיעה לשם ללא שגיאות. אם הרכזת הבאה מדווחת על הגעת מסגרת שגויה, יש צורך לשדר אותה מחדש ולהמשיך להמתין לאישור. ברור שהתהליך שתואר לעיל מאט את קצב התקשורת וגורם להשהיות ארוכות, ולכן פותח מאוחר יותר פרוטוקול משופר (מיתוג מסגרות).

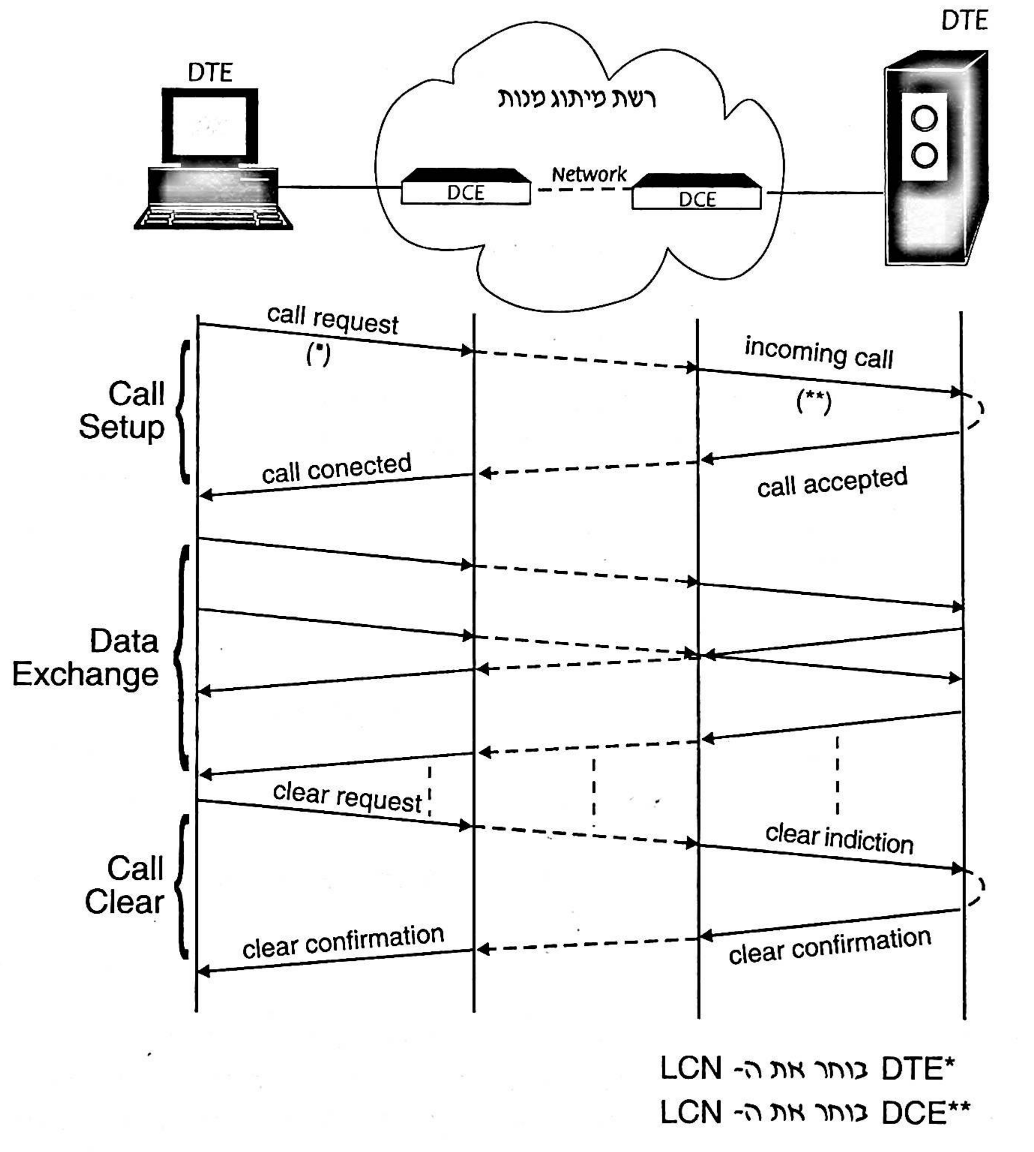
6. נתיבים קבועים וממותגים

פרוטוקול **X.25** מגדיר שני סוגים עיקריים של התקשרויות:

- **(Permanent Virtual Circuit) PVC** - התקשרות בנתיב **קבוע**
- **(Switched Virtual Circuit) SVC** - התקשרות בנתיב **ממותג**

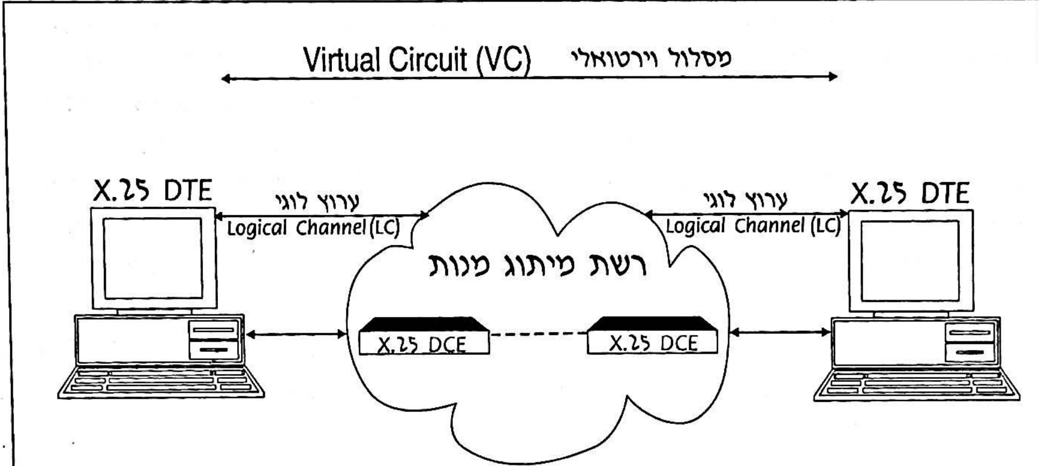
בשני המקרים נוצר מסלול דמיוני (וירטואלי) בין שני המשתמשים מקצה לקצה. אולם במקרה הראשון (**PVC**) המסלול פתוח כל הזמן וכל מסגרת הנושאת את ה- **LCN** שהוקצה לה ע"י מנהל הרשת תופנה מיידית למסלול הזה. מבחינה זאת שרות **PVC** דומה לקו נל"ן, שאינו דורש תהליך חיוג.

במקרה השני (**SVC**) יש צורך להגדיר את המסלול לפני תחילת ההתקשרות בתהליך שנקרא - **Call Set-up** המתבצע ע"י מנות מיוחדות ברמה השלישית: הצד היוזם שולח הודעה מיוחדת הנקראת **Call Request**, הכוללת את כתובתו וכתובת המנוי המבוקש ברשת (לפי תוכנית המספור הבינלאומית **X.121**), וכן מספר **LCN** יזום (הגבוה ביותר האפשרי). הרשת מעבירה את ההודעה למנוי הרחוק כאשר רכזת המיתוג האחרונה מקצה לו את מספר ה- **LCN** בקטע האחרון (הנמוך ביותר האפשרי). המנוי הרחוק שולח הודעת אישור, המועברת דרך הרשת חזרה למנוי היוזם. לאחר מכן מתקיים שלב החלפת המידע בין שני המנויים, עד שאחד מהם מחליט לסיים ומשגר הודעת **Clear Request**. הצד השני מאשר - ואז הקשר ניתק. (ראה ציור 5.9). ברור כי לצורך יצירת קשר **SVC** חדש יש לחזור על התהליך של הקמת הקשר מתחילתו (**Call Set-up**).



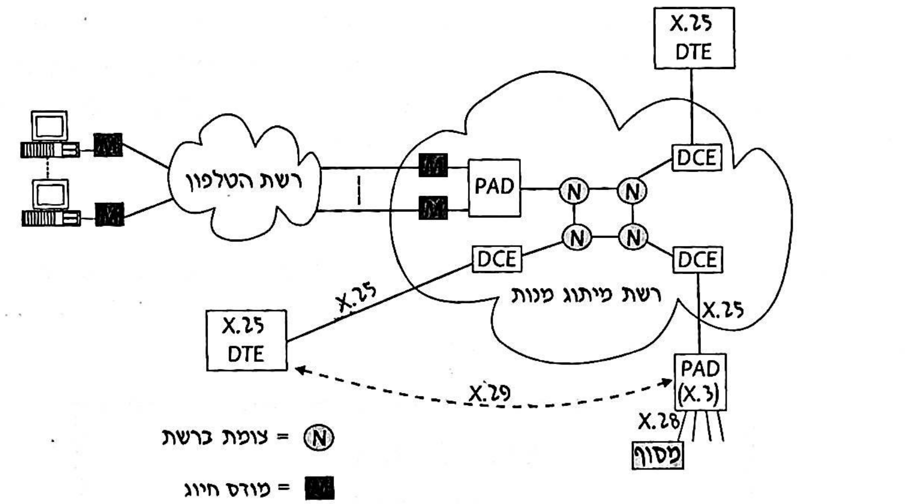
ציור 5.9 - תהליך ההתקשרות ב-SVC

כאן המקום להסביר את ההבדל בין ערוץ לוגי (**LC = Logical Channel**) לבין מסלול וירטואלי (**VC = Virtual Circuit**): לערוץ לוגי יש משמעות **מקומית** בלבד (בין ה- **DTE** וה- **DCE**) והספרור שלו משתנה מרכזת לרכזת, אולם למסלול וירטואלי יש משמעות **מקצה לקצה** (ראה ציור 5.10).



ציור 5.10 - ערוץ לוגי ומסלול וירטואלי

לסיכום, נתאר כעת את רשת מיתוג המנות על כל מרכיביה (ציור 5.11):



ציור 5.11 - מרכיבי רשת מיתוג מנות

לרשת יכולים להתחבר באופן קבוע אלמנטים ה״מדברים״ בפרוטוקול **X.25**. אלה יכולים להיות מחשבים בעלי ממשק **X.25** ‏(**X.25 DTE**) או **PAD**. כדי לאפשר לבעלי **PC** מרוחקים להתקשר לרשת בחיוג, מתקינים **PAD** באחד או יותר מאתרי הרשת, ומאפשרים ל- **PC** להתקשר למבואותיו של ה-**PAD** דרך רשת הטלפון (בעזרת מודם). בצורה כזאת יכולים המשתמשים להיכנס לרשת לזמן קצר, והם משלמים באופן יחסי לזמן החיבור.

ראינו שה-**PAD** יכול להיות חלק מהרשת (בתוך ה״ענן״) או חיצוני לרשת ומחובר אליה בפרוטוקול **X.25**. בכל מקרה חייב להיות תאום בין ה-**PAD** לבין ציוד הקצה המחובר אליו, וזה נעשה ע״י 3 תקנים משלימים של **ITU-T** (ראה ציור 5.11):

א. X.3 - מכיל אוסף של 22 פרמטרים שונים המגדירים את הפונקציות שה-PAD מבצע עבור מסוף מסויים. כל מסוף (או PC) מקבל "פרופיל" מסויים של פרמטרים בהתאם לצורת עבודתו, לדוגמה: קצב פעולה, סיבית ה-Parity, "הד" מקומי, ועוד.

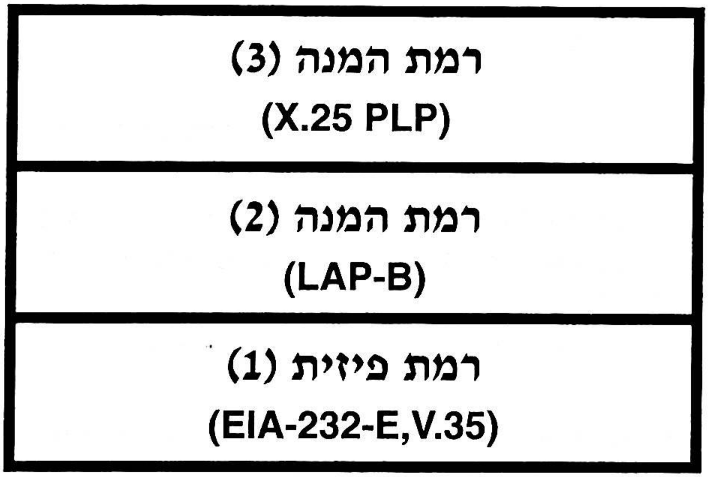
ב. X.28 מגדיר את הממשק שבין ציוד הקצה האסינכרוני וה-PAD, ואת צורת העבודה שביניהם. הממשק מחייב בקרה דו-כוונית, שבה נשלחות פקודות מהמסוף ל-PAD להקמת VC, לשינוי פרמטרי X.3, ולניתוק ה-VC. ה-PAD מגיב בהעברת סטטוס הפרמטרים, וכן תגובות אחרות בהתאם לפקודות שקיבל.

ג. X.29 מגדיר את הפרוטוקול שבין ה-PAD לבין מחשב X.25. הפרוטוקול מאפשר למחשב X.25 לקרא ולשנות את פרמטרי X.3 הנמצאים ב-PAD.

7. סיכום פרק ה'

רשת מיתוג מנות היא "ענן" המבטיח העברת "מנות" (Packets) מקצה לקצה, תוך שימוש בטכנולוגיה תקנית של ריבוב סטטיסטי. ציודי הקצה הם מקורות מידע ה"מדברים" בפרוטוקול X.25, כלומר מעבירים לרשת מסגרות (Frames), שבתוכן "עטופות" המנות. לפני תחילת ההתקשרות מבוצע תהליך יצירת הקשר (הנקרא Call Set-Up), שהוא דמוי-חיוג ובו נוצר מסלול וירטואלי בין שני הצדדים, שעליו מועברות כל המסגרות. לכן רשת X.25 תקנית היא מסוג Connection-Oriented, והמסלול יכול להיות קבוע (PVC) או ממותג (SVC).

בכל צומת ברשת מבוצע עיבוד ב-3 רמות שמקובל לתארו ע"י טבלת פרוטוקולים (ראה ציור 5.12):



ציור 5.12 - רמות X.25

■ הרמה הפיזית (הרמה הראשונה) - קליטת המידע (רצף הסיביות) מהצומת הקודמת, ושידורו לצומת הבאה.

■ רמת המסגרת, או רמת קו התקשורת (הרמה השניה) - בדיקת ספרור המסגרות, תקינותן, אישור קבלה לצומת הקודמת או בקשה לשידור חוזר. יצירת מסגרת חדשה בספרור חדש, שידורה לצומת הבאה והמתנה לאישור (או בקשה לשידור חוזר) מהצומת הבאה. רמה זו עוסקת בניהול קו התקשורת (בין ה-DTE וה-DCE), ללא תלות במנות השונות החולפות בו והמשתייכות ל-LCN שונים.

■ רמת המנה (הרמה השלישית) - בדיקת ספרור המנה (לגבי LCN נכנס מסוים), החלפת כותרת המנה בכותרת חדשה הכוללת מספר LCN יוצא, וספרור חדש של המנה. ברמה זו גם מתבצע תהליך ההקמה והניתוק של מסלולי SVC.

תוכן המנה אינו משתנה במעבר בין הצמתים השונים ולכן הטכנולוגיה נקראת "מיתוג מנות".

רשת מיתוג מנות יכולה להיות פרטית או ציבורית. ברשת פרטית נמצא כל הציוד בבעלות המשתמש, והוא שוכר קווי נל"ן (כדוגמת "סיפרנת" של בזק). ברשת ציבורית (כדוגמת "ישראנת") יכול המשתמש לחייג מהמשרד ל-PAD הנמצא ברשת, ודרכו להגיע למאגר מידע כלשהו המותקן במחשב X.25 בכל מקום בארץ או בעולם.

רשת מיתוג מנות עובדת בקצבים נמוכים (עד 64 קסל"ש בדרך כלל, אם כי התקן מאפשר עבודה עד 2 מסל"ש), תגובתה איטית בגלל כל מנגנוני תקון השגיאות ולכן נחשבת כיום למיושנת. רשת זו מוחלפת בהדרגה ברשת מיתוג מסגרות (Frame Relay) ועל כך בפרק הבא.

פרק ו' - מיתוג מסגרות

1. הקדמה

רשתות מיתוג מנות מייצגות טכנולוגיה של שנות ה- 60, שניסתה לפתור את בעיית הרשתות של שנות ה- 60. באותה תקופה קווי התקשורת היו כולם אנלוגיים, והתמסורת היתה מלווה בהרבה רעשים. לכן, פרוטוקולי **X.25** הכילו מנגנונים "כבדים" לגילוי ותיקון שגיאות, שהופעלו בכל אחת מצמתי הרשת.

מצב זה השתנה, וכיום רשתות התקשורת מבוססות על תשתית סיבים אופטיים, ולכן הן מהירות, סיפרתיות, אמינות ונקיות מהפרעות. מאידך גם ציוד הקצה "עלה כיתה" והוא כיום בעל יכולת חישוב, מסוגל לפעול בפרוטוקולים עיליים ויכול לטפל בעצמו בשגיאות התמסורת והרשת.

טכנולוגיית מיתוג מסגרות **(Frame Relay)** היא בעצם שיפור של מנגנון מיתוג המנות, המתבטא בהעברת הפונקציות של בדיקת שגיאות, שידורים חוזרים ובקרת רציפות המנות והמסגרות מהרשת אל ציוד הקצה. כתוצאה מכך נדרש פחות כח עיבוד בצמתי הרשת, התפוקה עולה וההשהייה יורדת. צומת **FR** מבצעת עיבוד מינימלי על המסגרות העוברות דרכה ומשאירה את היתר לציוד הקצה.

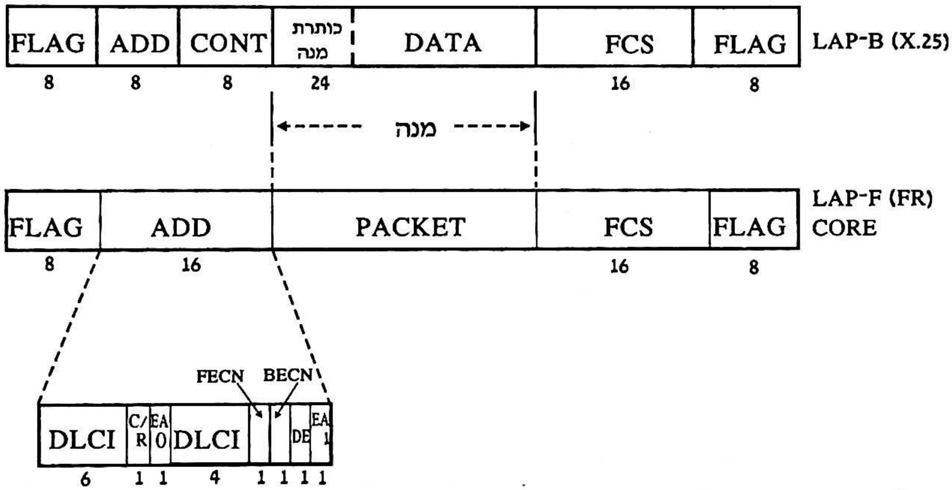
הקטנת ה"תקורה" **(Overhead)** בפרוטוקול מיתוג מסגרות מותנית בקיום שתי הנחות:
א. הרשת (ברמה הראשונה) היא "נקייה" משגיאות.
ב. במידה ונוצרות שגיאות, הן תטופלנה ע"י ציודי הקצה בפרוטוקולים גבוהים יותר.

השם "מיתוג מסגרות" מצביע על אופי העבודה: הריבוב והמיתוג נעשים ברמת המסגרת, ולא ברמת המנה (כפי שהדבר מבוצע ב- **X.25**). כפי שראינו בפרק הקודם, פרוטוקול מיתוג מנות פועל ב- 3 רמות, כאשר בכל רמה מתבצעת פונקציה מסויימת הדורשת עיבוד, וכמובן גורמת להאטת קצב העבודה ולהשהיות ברשת. פרוטוקול מיתוג מסגרות פועל **בשתי רמות בלבד** והמשמעות היא קצבים יותר גבוהים והשהיות נמוכות. במילים אחרות, הריבוב הסטטיסטי של מקורות מידע שונים (שקראנו להם בפרק הקודם "מסלולים וירטואליים") מבוצע כעת ברמת המסגרת (רמה 2) ולא ברמת המנה (רמה 3).

2. מבנה מסגרת FR

מבנה המסגרת של **FR** (ראה ציור 6.1) מבוסס על **LAP-D** - פרוטוקול הגישה לערוץ **D** של **ISDN**, שהוא עצמו מבוסס על **LAP-B** (נגזרת של **HDLC** שבה משתמשים ב-**X.25**). מסגרת **LAP-D** המקורית מוגדרת בתקן **(I.441) Q.921** של **ITU-T** כפי שמתואר בפרק ז' סעיף 6. לצורך העברת מסגרות בערוץ **D** של **ISDN** הוגדר פרוטוקול מיוחד שנקרא **Q.922** (או **LAP-F**), המבוסס על **Q.921 (LAP-D)**. מסגרת **FR** מנצלת רק את הפונקציות הבסיסיות **(Core Functions)** של **LAP-F**, ויתר הפונקציות (ובמיוחד הטיפול בשגיאות)

עוברות לאחריות ציוד הקצה. פרוטוקול FR נקרא LAP-F Core Protocol, להבדיל מפרוטוקול LAP-F המלא (Q.922) המכיל פונקציות נוספות ברמה המסגרת.



ציור 6.1 - מסגרות X.25 ו-FR

מסגרת FR מכילה את ה- FLAG, אחריו כותרת של 2 בתים, שדה מידע (בעל אורך משתנה), שדה FCS ושוב שדה FLAG לסיום. ההבדל היחידי בין מסגרת FR ו-X.25 הוא אפוא בהגדרה של כותרת ה- FR. כותרת זו מכילה מספר בעל 10 סיביות הנקרא DLCI (Data Link Connection Identifier) המקביל מבחינה פונקציונלית ל- LCN בפרוטוקול X.25, אלא שכעת הוא נמצא ברמה השניה (ולא ברמה השלישית כמו ב- X.25). שדה כותרת ה- FR יכול להתרחב גם ל- 3 או 4 בתים אם רוצים להגדיל את מרחב הכתובות, אולם ה-FRF (ראה פסקה 5) המליץ על 2 בתים בלבד.

להלן תיאור קצר של השדות ותפקידם העיקרי (השווה עם פיסקה 3 בפרק ג' ופיסקה 4 בפרק ה'):

- **FLAG** - צירוף קבוע של 8 סיביות, זהה לזה הקיים ב-X.25 (01111110 = 7E). גם כאן הפרוטוקול מחייב להוסיף "0" אחרי כל חמישה "1" עוקבים בשדה המידע, ולסלק אותו בצד הקולט - תהליך הנקרא Zero-bit insertion.
- **DLCI** - מספר בעל 10 סיביות המוקצה לקשר לוגי מסוים (כמו LCN בפרוטוקול X.25). למספר זה יש משמעות מקומית והוא משתנה במעבר דרך רכזת מיתוג. אפשר להגדיר עד 1024 מספרי DLCI בכל ממשק (אולם חלקם שמור למטרות אחרות ואינם מוקצים להעברת נתונים).
- **C/R** - Command/Response, סיבית אחת המנוצלת ע"י פרוטוקולים עיליים.
- **EA** - Extended Address, הרחבת שדה הכותרת: אם EA=0 יש תוספת בתים, ואם EA=1 אין תוספת, והכותרת היא בעלת 2 בתים בלבד.

- **FECN** - **Forward Explicit Congestion Notification**, סיבית המצביעה על עומס יתר **(Congestion)** בכיוון תנועת המסגרת **(Forward)**.

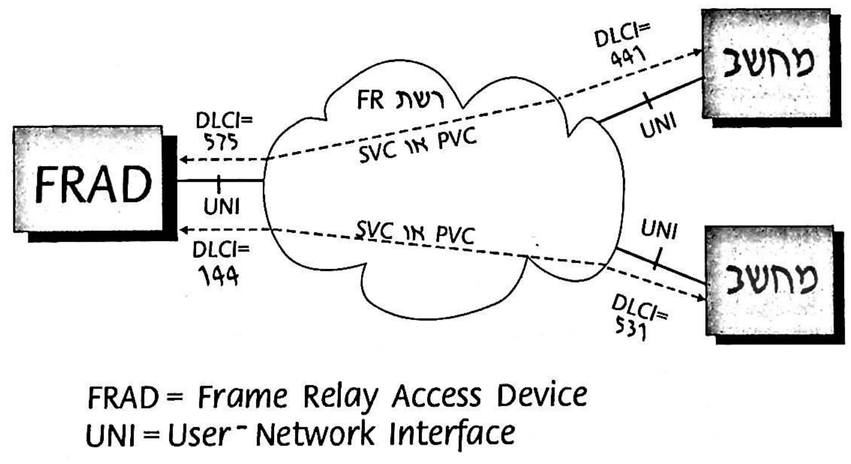
- **BECN** - **Backword Explicit Congestion Notification**, סיבית המצביעה על עומס יתר בכיוון המנוגד לכיוון תנועת המסגרת **(Backward)**

- **DE** - **Discard Eligibility**, סיבית המציינת את חשיבות המסגרת, ובהתאם לכך האם מותר (או אסור) להתעלם מהמסגרת במצב של עומס יתר. **D=1** מציין מסגרת בעדיפות נמוכה שמותר להשמיט אותה במקרה של עומס יתר. קביעת **D=1** יכולה להתבצע ע"י ציוד הקצה, או ע"י צומת ברשת במקרה של חריגה מה-**CIR** (ראה פסקה 7).

3. פעולת פרוטוקול FR

פרוטוקול **FR** (כמו פרוטוקול **X.25**) מתייחס אך ורק לממשק שבין ה-**DTE** (ציוד הקצה) לבין ה-**DCE** (ציוד הרשת). צורת התקשורת בין רכזות הרשת אינה מוגדרת, וכל יצרן יכול להשתמש בפרוטוקול פרטי משלו. הממשק **DTE/DCE** נקרא גם **UNI** **(User-Network Interface)**, וכמו-כן קיים גם פרוטוקול **NNI** המוגדר בין רשת לרשת **(Network-Network Interface)**.

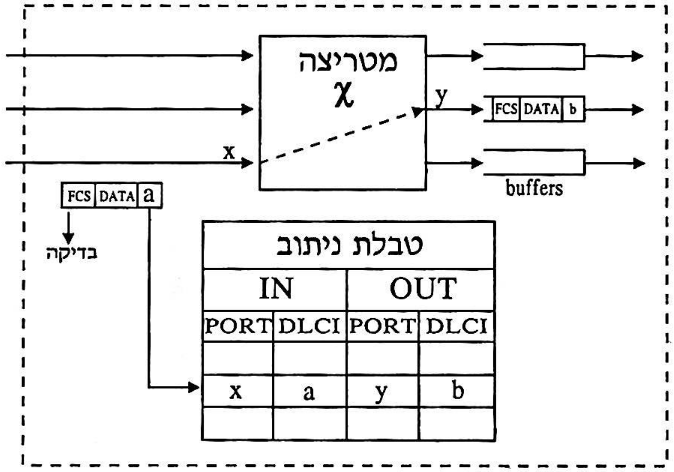
כפי שכבר צוין לעיל, ה-**DLCI** ממלא ברשת **FR** תפקיד דומה לזה שממלא ה-**LCN** ברשת **X.25**, אולם ה-**DLCI** נמצא ברמה השנייה (רמת המסגרת) ולכן פרוטוקול **FR** פועל ברמה זו בלבד, ואין לו כל עיבוד ברמה השלישית. גם בפרוטוקול **FR** מגדירים מסלולים וירטואליים **(VC)** מקצה לקצה, הכוללים את שני ה-**DLCI** בשני הקצוות (ראה ציור 6.2).



ציור 6.2 - מסלולים וירטואליים ב - **FR**

המושג **FRAD** **(Frame Relay Access Device)** מקביל ל-**PAD** שהכרנו בפרוטוקול **X.25**. ה-**FRAD** מקבל אותות בפרוטוקולים שונים ומתרגם אותם למסגרות בפרוטוקול **FR** (בממשק **UNI**).

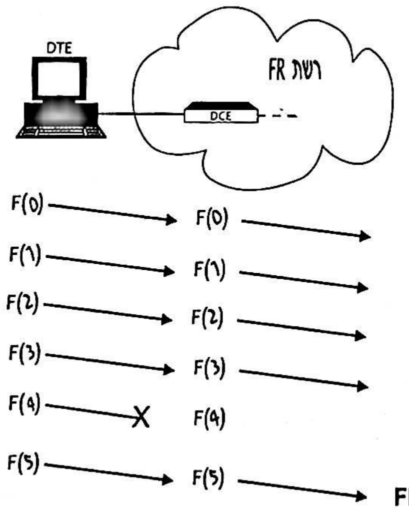
במעבר דרך רכזת **FR** משתנים מספרי **DLCI**, כפי שמתואר בציור 6.3. נניח שמסגרת נכנסת לרכזת במבוא **X** ויש לה **DLCI=a**. הרכזת בודקת את ה-**FCS**, ואם הוא אינו תקין - המסגרת נמחקת. אם ה-**FCS** תקין - הרכזת נותנת למסגרת כותרת חדשה הכוללת **DLCI=b**, מחשבת מחדש את ה-**FCS** (בגלל שה-**DLCI** השתנה), ומנתבת את המסגרת למבוא **Y** (בהתאם לרשום בטבלת הניתוב).



ציור 6.3 - תאור פונקציונלי של רכזת **FR**

טבלאות ניתוב כאלה קיימות בכל רכזות **FR** ברשת. הן מתעדכנות בכל פעם שמוגדר מסלול וירטואלי ממותג (**SVC**) חדש (בתהליך הנקרא **Call Set-up**), או ע"י מערכת הניהול בעת הגדרת מסלול קבוע (**PVC**).

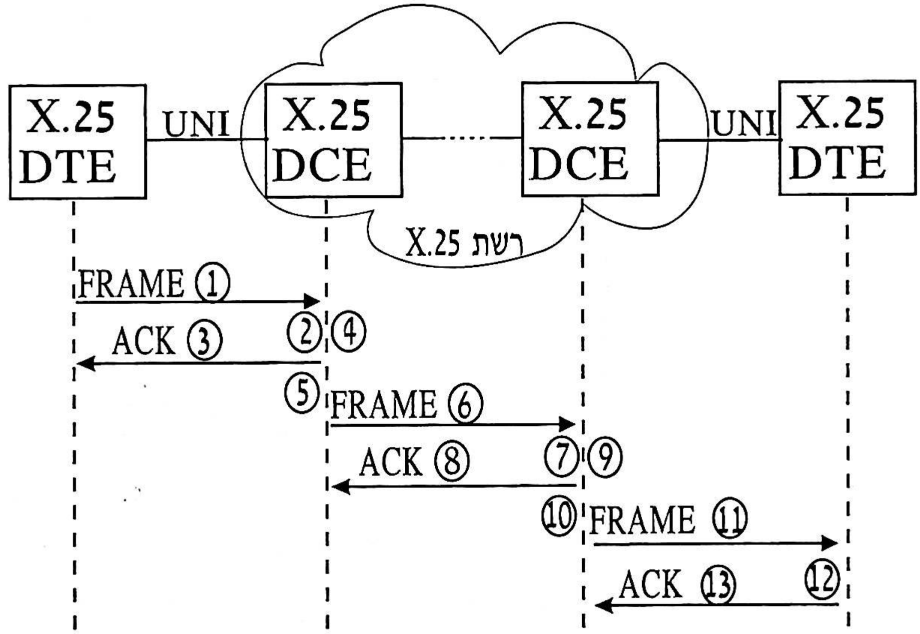
הפשטות של פרוטוקול **FR** מודגמת בציור 6.4:



ציור 6.4 - שידור מסגרות ב - **FR**

ה-DTE משדר מסגרות ל-DCE (רכזת FR), אולם מסגרות אלה אינן נושאות כל ספרור (בציור לעיל, הספרור נוסף למטרת הסבר בלבד). ה-DCE מעביר את המסגרות הלאה לכיוון תחנת היעד ואינו אוגר את המסגרות בהמתנה לאישור. אם מסגרת מסוימת מתקבלת שגויה (כגון מסגרת F(4) בציור), ה-DCE פשוט מתעלם ממנה ומשאיר לציוד הקצה את התפקיד להתגבר על מסגרות חסרות.

כדי להמחיש את ההבדל בין רשת X.25 לרשת FR נתאר את המסלול של מסגרת בודדת ברשת X.25 (ציור 6.5), ואותה מסגרת ברשת FR (ציור 6.6). כפי שכבר נאמר לעיל, שני הפרוטוקולים מגדירים אך ורק את הפעילות בממשק משתמש-רשת (הנקרא גם UNI) אולם הפעילות בתוך "ענן" הרשת אינה מוגדרת, וספקי הרשת יכולים להשתמש בפרוטוקולים תקניים או פרטיים.

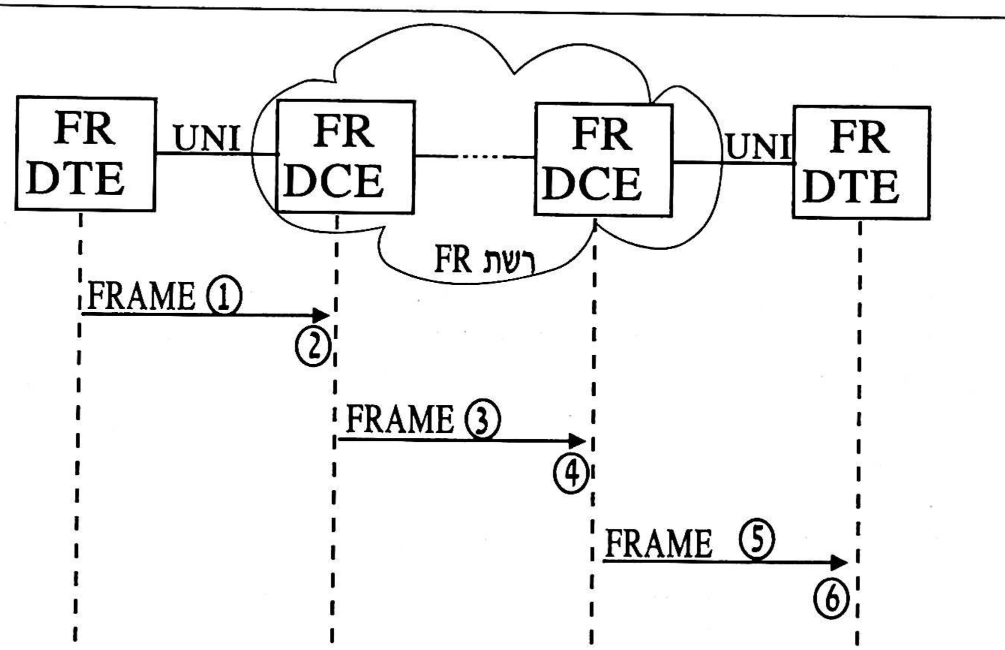


ציור 6.5 - פעולת רשת X.25

ברשת X.25 (ראה ציור 6.5) המסגרת נשלחת לרכזת הראשונה (1), ושם היא נאגרת, נבדקים ה-FCS, ספרור המסגרת ובקרת הזרימה (2), ונשלח אישור לצד השולח (3). לאחר מכן מבוצע ברכזת עיבוד ברמה השלישית (4) שבו משתנים מספרי ה-LCN וספרור המנות, ובנוסף נבנית ברמה השניה מסגרת חדשה (5) הכוללת ספרורי מסגרת ו-FCS חדשים. לבסוף המסגרת נשלחת לרכזת הרשת הבאה (6) ושם התהליך חוזר על עצמו.

בציור 6.5 כל המסגרות נקלטו בסדר ולכן נשלחו אישורים (ACK). אולם אם מסגרת מסויימת היתה נקלטת שגוייה, הרכזת הקולטת היתה מבקשת שידור חוזר והתהליך היה מתעכב עד לקבלת מסגרת תקינה.

ברשת **FR** התהליך פשוט יותר (ראה ציור 6.6). על המסגרת הנקלטת מבוצעת בדיקת **FCS** (2), אולם לא נשלח חזרה כל אישור או בקשה לשידור חוזר. אם המסגרת התגלתה שגוייה - היא פשוט נזרקת. אם המסגרת תקינה - היא נכנסת לרשת, ה-**DLCI** מתחלף, והיא מנותבת לרכזת הבאה (כמתואר בציור 6.3).



ציור 6.6 - פעולת רשת **FR**

כאמור לעיל, פרוטוקול **FR** אינו מגדיר את הפעילות **בתוך** הרשת, וכל ספק יכול לנהוג כרצונו:

- ניתן לבצע בתוך הרשת בדיקת תקינות מסגרות על כל קו (כפי שמבוצע ב-**X.25**), כאשר הקווים רועשים.
- אם הקווים נקיים, אפשר להשתמש בשיטת המיתוג המהיר (**Cut-through Switching**), שבה אין צורך להמתין עד סיום אגירת כל המסגרת הנקלטת, אלא מפענחים את ה-**DLCI** ומשגרים מייד את המסגרת לרכזת הבאה. ברור שבמקרה כזה אין בודקים את תקינות המסגרת (**FCS**), אולם מקצרים במידה משמעותית את ההשהיה בכל רכזת וברשת כולה.

איבוד מסגרות ברשת **FR** יכול לקרות כתוצאה משתי סיבות:

- שגיאות בתמסורת הנגרמות ע"י רעשים והפרעות (המתגלות ע"י בדיקת **FCS**).
- עומס יתר ברשת.

כבר נאמר לעיל, כי רשתות התקשורת המודרניות מבוססות במידה רבה על סיבים אופטיים, ולכן ההסתברות לשגיאות בתמסורת היא נמוכה. איבוד מסגרות נגרם בעיקר כתוצאה מהסיבה השנייה: עומס יתר ברשת, ובפיסקה הבאה נראה כיצד ניתן להתגבר על כך.

4. הטיפול בעומס יתר ברשת FR

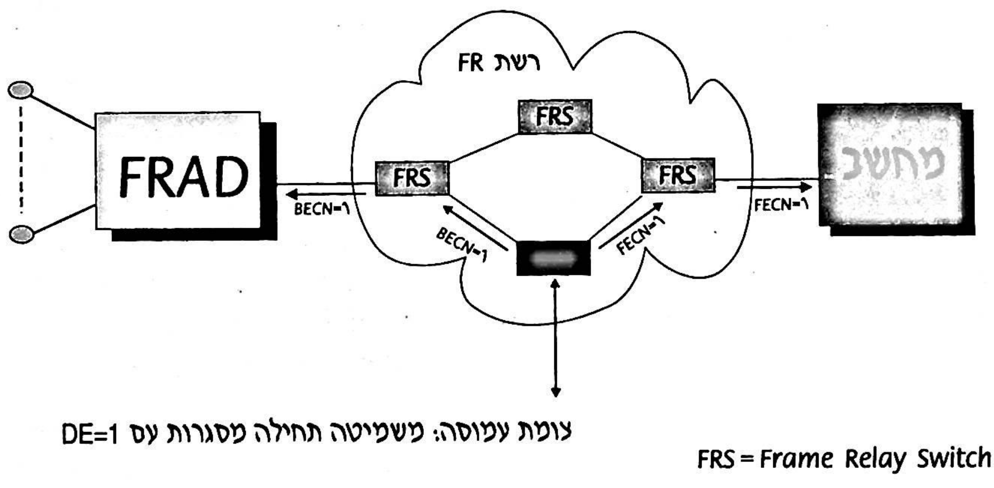
ברשת **FR**, יכול תאורטית כל משתמש לשדר כמויות גדולות של מידע לכל משתמש אחר. אם הרבה משתמשים משדרים ברגע מסוים לאותו כיוון, עלול להיווצר עומס יתר ומסגרות יכולות ללכת לאיבוד. לכן חשוב שיהיו לרשת מנגנוני בקרת זרימה, שבעזרתם ניתן יהיה להתגבר על עומס היתר.

לרשת **FR** יש שני מגנגנונים כאלה (ראה ציור 6.1):

- הסיביות **BECN/FECN**
- סיבית **DE**

כאשר מזוהה ברשת מצב של עומס יתר, נשלחת סיבית **FECN=1** לכיוון הצד הקולט, וסיבית **BECN=1** נשלחת בכיוון ההפוך (לכיוון הצד המשדר). כאשר מצב עומס היתר נמשך, נשלחות סיביות **BECN/FECN** נוספות וקצב הגעתן יכול לשמש כאינדיקציה לחומרת העומס. בשלב זה מצפים שציודי הקצה הקולטים סיביות אלו "יבינו" את מצב הרשת ויקטינו את קצב התקשורת שלהם.

בנוסף לכך, כאשר אחת מרכזות הרשת מגיעה למצב של עומס יתר, היא מתחילה בהשמטת המסגרות שבהן **DE=1**, שסומנו מראש ע"י המשתמש (או הרשת) כמסגרות בעדיפות נמוכה (ראה סעיף 7 בהמשך).



ציור 6.7 - מנגנון בקרת זרימה

5. תקינת FR

בכתיבת תקני FR מעורבים 3 גופים (ראה גם פרק ח'):

- **ITU-T** (לשעבר CCITT), גוף בינל"א לתקינת תקשורת.
- **ANSI** - מכון התקנים האמריקאי.
- **FRF** (Frame Relay Forum) - קבוצת חברות המעוניינות לקדם את טכנולוגיית ה-FR.

תקני ה-FR של ה- ITU-T מבוססים על ארכיטקטורת ISDN, ולמעשה הרעיון לשירותי FR החל בגופי התקינה המטפלים ב-ISDN. בשנת 1988 אושר ב-CCITT תקן I.122 המגדיר שירותי מיתוג מנות ב-ISDN. מפתחי ה-ISDN השתמשו עוד מקודם בפרוטוקול הנקרא LAP-D לצורך העברת איתותים בערוץ D, כמוגדר בתקן Q.921. הם גילו שלפרוטוקול LAP-D יש תכונות שניתן לנצלן גם לצרכים אחרים, כגון ריבוב אפיקים לוגיים (VC) ברמה השנייה במקום ברמה השלישית, כמקובל ב-X.25.

באותה תקופה החלה גם פעילות תקינת FR ב-ANSI ופורסמו מס' תקנים הדומים לתקני ITU-T. להלן רשימת תקני FR העיקריים:

נושא	תקן ITU-T	תקן ANSI
תיאור הארכיטקטורה והשירות	I.233	T1.606
מאפייני העבודה ברמה השנייה	Q.922(A)	T1.618
ניהול PVC	Q.933(A)	T1.617(D)
ניהול עומס יתר	I.370	T1.606a
איתותי SVC	Q.933	T1.617

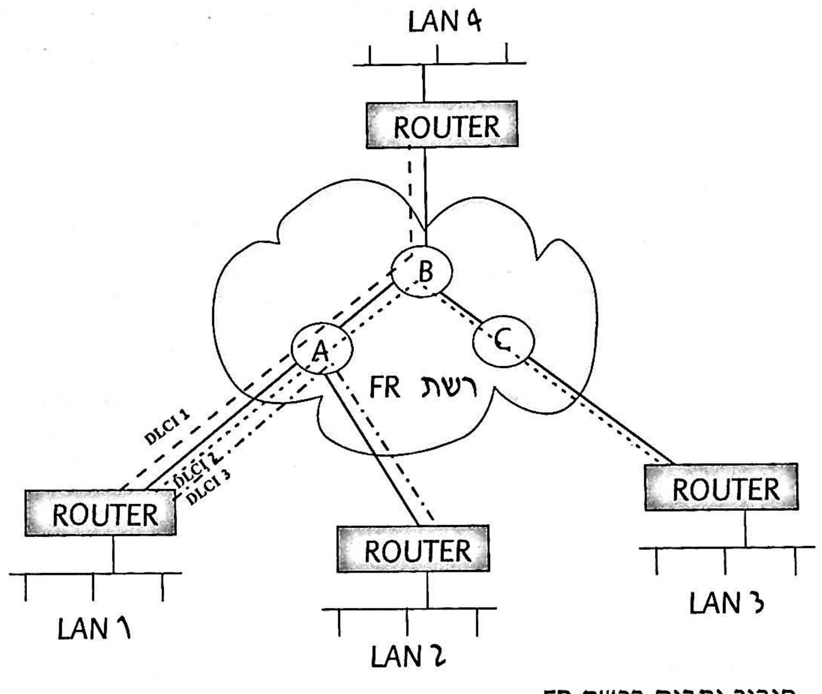
ה-FRF (שהוקם בשנת 1990) שם לעצמו כמטרה לדאוג לתאימות בין המוצרים והיישומים השונים של FR, ע"י פרסום מסמכים הנקראים IA = Implementation Agreements, כלומר: הסכמים בין היצרנים המבוססים על התקנים. לדוגמה:

נושא	מסמך FRF
UNI	FRF.1
NNI	FRF.2
טיפול בפרוטוקולים שונים	FRF.3
SVC (משתמש/רשת)	FRF.4
קישור FR/ATM (Encapsulation)	FRF.5
ניהול רשת FR	FRF.6
PVC Multicast	FRF.7
קישור FR/ATM (Translation)	FRF.8
דחיסת נתונים על FR	FRF.9

6. יישומי FR

מאחר ו- LAP-D דומה מאד ל- HDLC, ניתן לשנות מוצרים קיימים ולהתאימם לפעולה ב- FR ע"י שינויי תוכנה. יש לזכור ש- FR הוא תקן המגדיר ממשק בין ציוד הקצה לבין הרשת, בדומה ל- X.25. המיתוג הפנימי בתוך הרשת אינו מוגדר בתקן ויכול להיות פרטי. יצרנים רבים של גשרים ונתבים כבר תומכים ב- FR, כך שרשת תשתית אחת תוכל לטפל בכל סוגי המידע.

אחד היישומים האופייניים הוא חיבור נתבים (Routers) באמצעות רשת FR (ראה ציור 6.8). כל נתב מחובר לרשת בממשק פיזי אחד, ובו מוגדרים מסלולים וירטואליים לכיוון כל הנתבים האחרים. ברשתות המבוססות על קווי נל"נ כל נתב זקוק למספר ממשקים בהתאם לקישוריות הנדרשת, ולכן ברור שרשת FR מוזילה את העלות ומפשטת את הטופולוגיה וניהול הקונפיגורציה. ספקי אינטרנט מציעים לאחרונה ללקוחותיהם הגדולים להתחבר אליהם באמצעות רשת FR ציבורית (כגון "ישראנת"), כדי לחסוך מבואות וממשקים.



ציור 6.8 - חיבור נתבים ברשת FR

ישום נפוץ אחר הוא בניית רשת פרטית המשלבת דיבור ונתונים על גבי רשת FR ציבורית. גם בישום זה מחובר כל מרבב דיבור/נתונים בממשק אחד לרשת FR, ובו מוגדרים מסלולים וירטואליים לכיוון יתר המרבבים. בתכנון המקורי של רשתות FR לא הייתה כוונה לתמוך באותות דיבור, עקב ההשהייה המשתנה שעשויה כל מסגרת לעבור. אולם במרבבי דיבור/נתונים מתקדמים הצליחו להתגבר על בעיה זאת, וכיום ניתן לבנות רשת פרטית המבוססת על פרוטוקול FR.

7. (Committed Information Rate) CIR

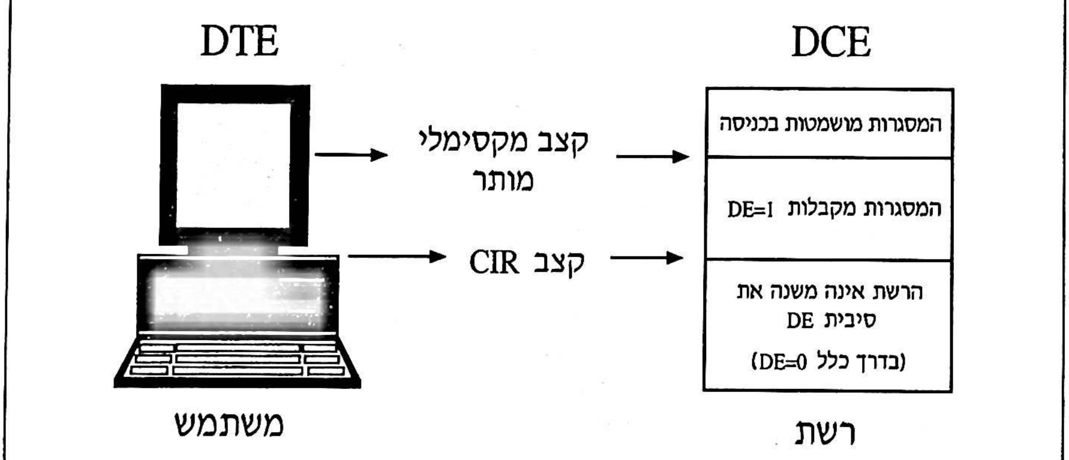
כאשר מזמינים קווג FR ברשת ציבורית (כגון "ישראנת") יש להגדיר שני פרמטרים:

א. קצב המבוא (Access Rate) בכל נקודת ממשק (כגון: 64, 128, 256 קסל"ש וכו').

ב. CIR - שהוא התחייבות בעל הרשת לקצב העברת נתונים מינימלי בכל מסלול וירטואלי (VC), בתנאים רגילים.

ה-CIR נמדד בקסל"ש והוא מבטא את כמות הנתונים המינימלית במרווח מוגדר של זמן, שבעל הרשת מתחייב להעביר בעדיפות רגילה. זרם נתונים בכמות העולה על ה-CIR יועבר בעדיפות נמוכה יותר (לדוגמה: ע"י קביעת DE=1 בכניסה לרשת), או לא יועבר בכלל (בהתאם להסכם של המנוי עם מנהל הרשת). ה-CIR מוגדר בתקן ANSI T1.606.

כל זמן שהמשתמש משדר נתונים לרשת בקצב הנמוך או שווה ל-CIR, הרשת (DCE) מאפשרת למשתמש לקבוע את סיבית DE=0, שמשמעותו עדיפות גבוהה. אם קצב הנתונים עולה על CIR, ה-DCE יקבע D=1 עד לקצב מבוא מקסימלי מותר. המסגרות עם DE=1 תיכנסנה לרשת "על תנאי", ובמידה שיתקיים מצב של עומס-יתר הן תושמטנה מהרשת. אם קצב הנתונים יעלה על המקסימום המותר - ה-DCE ישמיט את המסגרות מייד בכניסה (ראה ציור 6.9).



ציור 6.9 - התנהגות הרשת בקצבים שונים

דוגמאות:

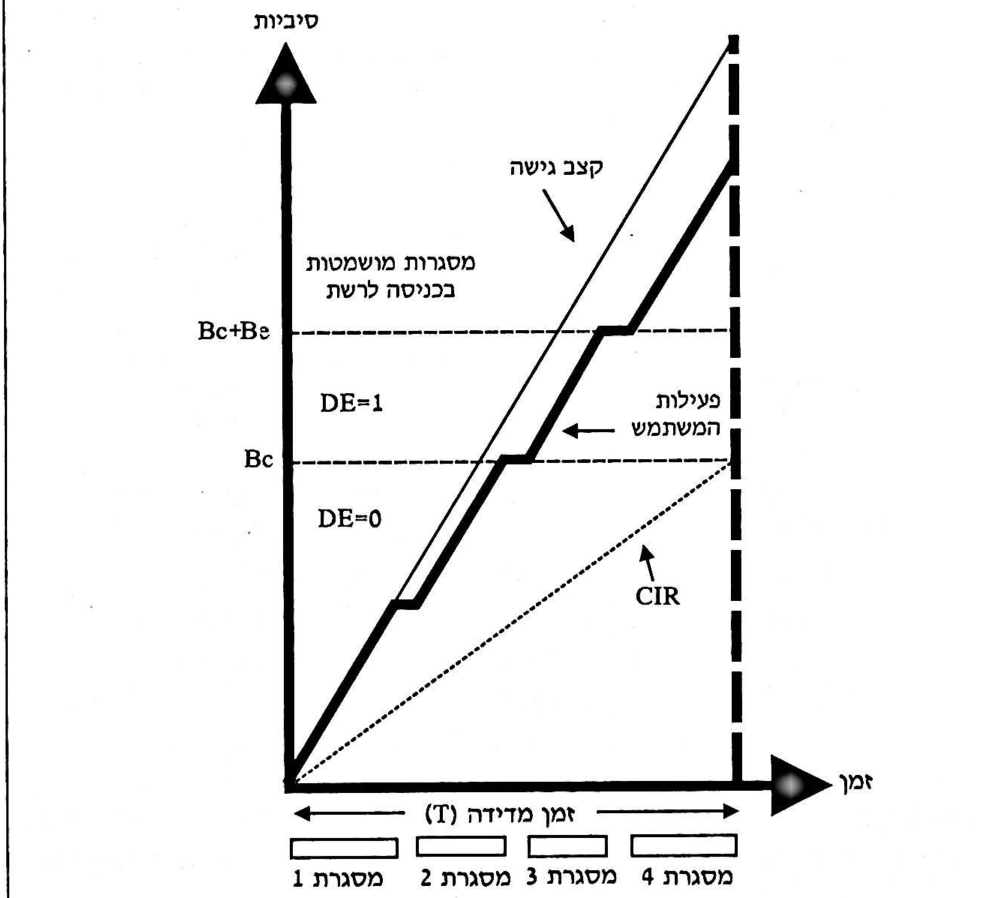
- במבוא של 64 קסל"ש אפשר להקצות שני מסלולים וירטואליים בעלי CIR = 32 קסל"ש כל אחד, אם הם פועלים בנצילות מלאה.
- באותו מבוא (64 קסל"ש) אפשר להקצות ארבעה מסלולים וירטואליים בעלי CIR = 32 קסל"ש, אם ידוע שנצילותם הממוצעת היא 50%.

למעשה קיימים שני פרמטרים נוספים המוגדרים לפי תקן ANSI T1.606 (בנוסף ל-CIR):

א. Bc (Committed Burst) - כמות מקסימלית של נתונים שמותר למשתמש לשדר לרשת במשך זמן T.

ב. Be (Excess Burst) - כמות מקסימלית עודפת של נתונים (במשך זמן T), מעל הכמות המותרת Bc, שהרשת תנסה להעביר.

בציור 6.10 מתוארים היחסים בין הפרמטרים השונים. בציור מתוארות 4 מסגרות, המשודרות לרשת ע"י משתמש מסויים. קצב הגישה שלו גבוה מה-CIR, ולכן השיפוע של הקו (שהוא היחס בין כמות הסיביות לבין משך הזמן) הוא גבוה יותר. שים-לב ש- CIR = Bc/T, או במילים אחרות, במשך זמן T הרשת מתחייבת להעביר לפחות Bc סיביות (T x CIR). כמות הסיביות בשתי המסגרות הראשונות קטנה מ-Bc, ולכן הן נכנסות לרשת ללא כל בעיה. כמות הסיביות המצטברת במסגרת השלישית עוברת את Bc, אך עדיין פחות מהסכום Bc+Be, ולכן המסגרת תקבל את הציון DE = 1. המסגרת השלישית תיכנס לרשת "על תנאי", ייתכן שתושמט בהמשך אם הרשת תהיה עמוסה, אך ייתכן שתגיע ליעדה. במסגרת הרביעית, כמות הסיביות עוברת את הכמות המקסימלית המותרת (Bc+Be), והמסגרת מושמטת כבר בכניסה לרשת.



ציור 6.10 - בקרת קצב הגישה לרשת

זמן המדידה T אינו מוגדר בתקן, והוא ניתן ע"י ספק הרשת, או מחושב ע"י הנוסחה T = Bc/CIR (אם נתון Bc). זמן אופייני הוא T = 1 שנייה.

דוגמה: נניח משתמש המחובר לרשת בתנאים הבאים:

קצב המבוא	=	256 קסל"ש
CIR	=	128 קסל"ש
Bc	=	128 קילו סיביות
Bc+Be	=	192 קילו סיביות
T	=	1 שנייה

המשתמש משדר מידע לרשת בקצב של 8 מסגרות לשנייה. אורך כל מסגרת הוא 125mS, והיא מכילה 32,000 סיביות. 4 המסגרות הראשונות מכילות ביחד 128,000 סיביות, ולכן הן תיכנסנה לרשת עם DE=0. שתי המסגרות הבאות יביאו את המספר המצטבר של סיביות ל- 192,000 , והן תיכנסנה לרשת "על תנאי" עם DE=1. שתי המסגרות האחרונות לא תיכנסנה כלל לרשת, מאחר והמספר המצטבר עבר את הגבול המותר.

הערה: מדיניות הטיפול במידע "עודף" (מעל המותר) עשוייה להשתנות מספק לספק.

8. השוואת שלוש שיטות הריבוב

הטבלה הבאה מסכמת את תכונות שלוש שיטות הריבוב שנדונו:

תכונה	TDM	X.25	FR
הקצאה קבועה של חריצי זמן לכל אפיק	כן	לא	לא
ריבוב סטטיסטי	לא	כן	כן
תפוקה גבוהה	כן	לא	כן
השהייה	מאוד נמוכה	גבוהה	נמוכה

מהטבלה ברור ששיטת FR מנצלת את הטוב שבשתי השיטות האחרות: את תכונת הריבוב הסטטיסטי של X.25 ואת התפוקה הגבוהה וההשהייה הנמוכה של TDM. השימוש במסגרות בעלות אורך משתנה (בדומה ל-X.25) הוא מאוד חשוב לצורך קישוריות רשתות LAN, שגם בהן אורך המסגרת משתנה. ההשהייה

ברשתות **FR** עשויה להשתנות לפי גודל המסגרת, אולם מאחר והיא נמוכה מאשר ברשת **X.25**, קיימת אפשרות בתנאים מסוימים להעביר גם אותות דיבור. הביקוש ליישומי **FR** עולה בהתמדה, על חשבון הירידה בביקוש לקווי **X.25**.

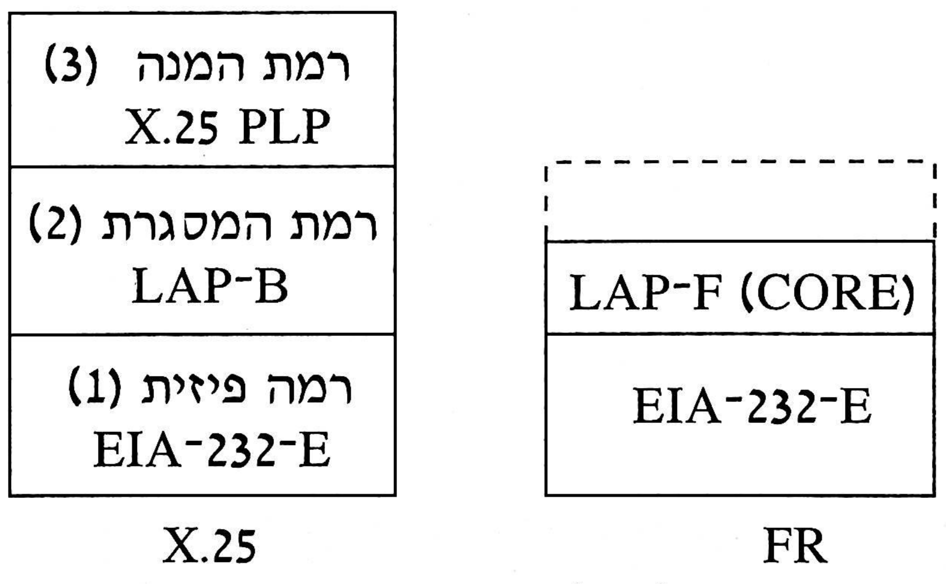
9. סכום פרק ו'

פרוטוקול **FR** מהווה שיפור של פרוטוקול **X.25**, המתבטא בהעברת פונקציות מיותרות מהרשת אל ציוד הקצה. ההנחה היא שהרשתות כיום הן הרבה יותר אמינות ונקיות ולכן אין צורך בהשקעת משאבים ברשת לצורך ספרור מסגרות, תיקון שגיאות, שידורים חוזרים וכו'. המסגרות מועברות מצומת לצומת באופן מיידי, ללא המתנה לאישור, ואם מתגלה מסגרת שגויה היא פשוט מושמטת ועל ציוד הקצה מוטל התפקיד להשלימה.

רשתות **FR** עובדות ב-2 רמות בלבד:

- הרמה הפיזית (הרמה הראשונה)
- רמת המסגרת (הרמה השניה), שמוטלים עליה פחות תפקידים מהרמה השניה בפרוטוקול **X.25**, ולכן היא נקראת **Q.922 Core Protocol** (או **LAP-F**).

ציור 6.11 מתאר את מבנה הרמות של **FR** מול **X.25**:



ציור 6.11 - מבנה הרמות של **FR** מול **X.25**

השם "מיתוג מסגרות" נובע מהעובדה שבכל צומת מבצעים עיבוד על כותרת המסגרת (ברמה שניה), אך **תוכן המסגרת** עובר ללא שינוי. שים-לב שבשיטת מיתוג המנות בוצע עיבוד הן על כותרת המסגרת (ברמה השניה) והן על כותרת המנה (ברמה השלישית), **ותוכן המנה** עבר ללא שינוי בין הצמתים.

התוצאה היא שרשתות **FR** עובדות מהר יותר וזמן ההשהייה נמוך יותר מאשר רשתות **X.25**, ולכן יישומי **FR** עולים בהתמדה. ברשתות **X.25** מקובל לעבוד בקצבים עד 64 קסל"ש ואילו ברשתות **FR** ניתן להגיע לקצבים של 2 מסל"ש ויותר. אחד היישומים הטיפוסיים הוא חיבור נתבים (**Routers**), ברשתות פרטיות וברשת אינטרנט. לאחרונה החלו גם להעביר דיבור על רשתות **FR** פרטיות עקב ההשהייה הנמוכה שלהן.

רשתות **FR** עובדות כיום בעיקר בנתיבים קבועים (**PVC**). קיימת תקינה גם לעבודה בנתיבים ממותגים (**SVC**) אך כמעט ואין מיישמים אותה, מאחר ולצורך זה נדרשת תשתית מסוג **ISDN**. נחזור לנושא זה בסעיף 10 בפרק ז', לאחר שנכיר את פרוטוקולי **ISDN**.

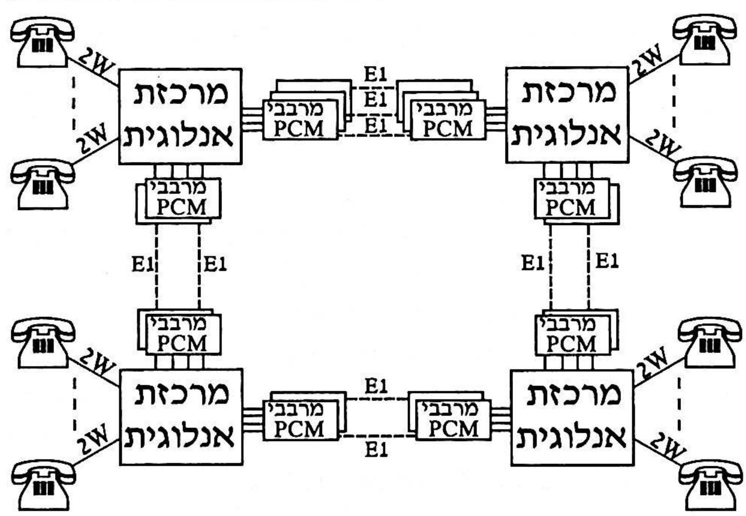
פרק ז' - ISDN
(Integrated Services Digital Network)

1. האבולוציה ברשת הטלפון

רשת הטלפון כפי שתוארה בפרק א' קיימת מזה למעלה מ- 100 שנה. במשך הזמן עברה רשת זו (ועדיין עוברת) מספר שינויים משמעותיים בכוון להפיכתה מאנלוגית לסיפרתית. המעבר לטכנולוגיה סיפרתית נובע מירידה במחיר, בנפח ובהספק של רכיבים ספרתיים, נוחות התחזוקה שלהם, אבל בעיקר מיכולת הטכנולוגיה הספרתית לשפר את איכות התקשורת. מאחר ותקשורת ספרתית מטפלת בשידור של סיביות, הרי רעשים אנלוגיים המצטברים על רצף הסיביות כמעט ואינם משפיעים על יכולת הקליטה והזיהוי. לא כן הדבר בתקשורת אנלוגית, שבה הרעש מוגבר עם האות, ולכן קשה להפריד בין האות לבין הרעש.

השינויים שחלו ברשת הטלפון הם:

א. אפיקי התמסורת בין מרכזות הטלפון נהפכו בהדרגה לסיפרתיים (ראה ציור 7.1). את מרבבי ה- **FDM (Frequency Division Multiplex)** הישנים החליפו מרבבי **PCM (Pulse Code Modulation)** חדשים הידועים גם בשם **Channel Banks** (ראה ציור 4.8). בשיטת **PCM** הופכים את אותות הדיבור מאנלוגיים לסיפרתיים ע"י דגימתם בקצב של 8000 פעמים בשניה (כפי שמתואר בפרק ד' פיסקה 6). לכל דגימה מקצים מילה בת 8 סיביות המייצגת את עוצמת האות ברגע הדגימה. לכן, כל שניה של דיבור מיוצגת בשיטת **PCM** ע"י 64,000 סיביות (ראה ציור 4.9). במילים אחרות, אפיק דיבור אנלוגי של 4 קה"צ, הפך לאפיק סיפרתי בקצב של 64,000 סל"ש. 30 אפיקים כאלה (וכן עוד 2 אפיקי איתותים) מצטרפים ביחד בשיטת **TDM** לקבוצת **PCM** בסיסית הפועלת בקצב של 2048 קסל"ש (32 X 64), או **E1** (ראה ציור 4.7). ארבע קבוצות **E1** מרובבות לקבוצת **E2** (8.448 מסל"ש), ארבע קבוצות **E2** מרובבות לקבוצת **E3** (34.368 מסל"ש), וכן קיימת קבוצת **E4** (139.264 מסל"ש). בעוד אשר ריבוב **E1** הוא "**TDM** אמיתי", יתר המרבבים מרמת **E2** ומעלה פועלים בשיטת **PDH** שתוסבר באחד הפרקים הבאים.

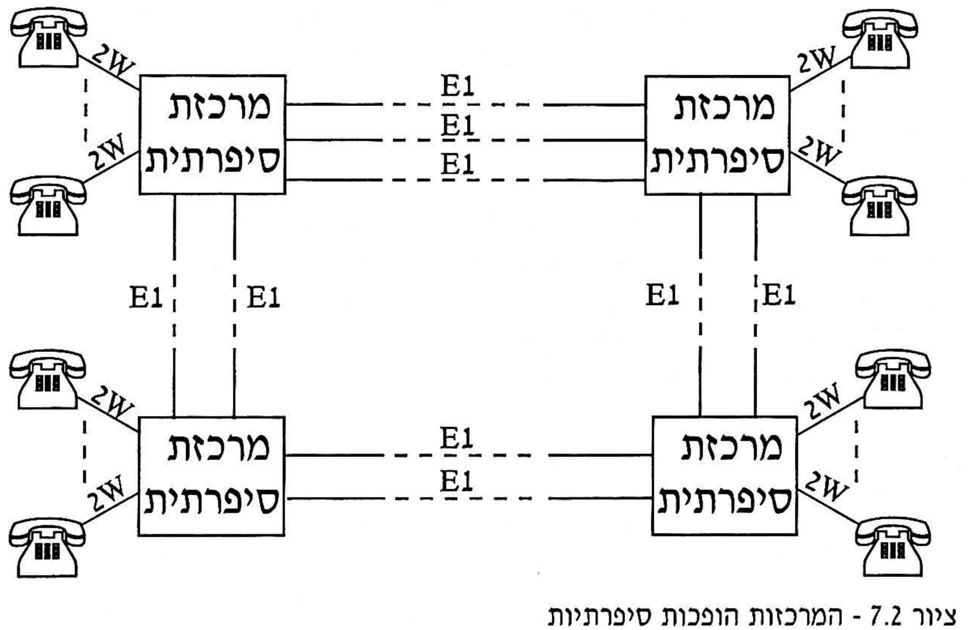


ציור 7.1 - מרבבי PCM בין המרכזות

מרבבי PCM הותקנו בין המרכזות האנלוגיות כאשר כל זוג מחובר בקו סינכרוני בקצב E1 (2.048 מסל"ש). התמסורת הסיפרתית בין המרכזות שיפרה את איכות התקשורת, אולם השימוש במרבבי PCM היה יקר ודרש הרבה ממשקים, כבלים, ארונות סעף, חשמל וכו' (ראה ציור 7.1).

ב. בשלב שני מוחלפות מרכזות הטלפון האנלוגיות במרכזות סיפרתיות (ראה ציור 7.2). אותות הדיבור ממשיכים להגיע מהטלפון בצורה אנלוגית, אולם בכניסה למרכזת הם הופכים לסיפרתיים (בשיטת PCM). המיתוג במרכזת מבוצע בשיטות סיפרתיות והמימשק עם ציוד התמסורת אף הוא סיפרתי (קבוצות E1). מסלול התקשורת ממרכזת המבוא ועד מרכזת היעד הפך להיות סיפרתי כולו. רשת כזו, בה פונקציות המיתוג והתמסורת מבוצעות בטכניקות סיפרתיות ומשולבות בפעולתן, נקראת לעתים בספרות IDN (Integrated Digital Network). בסוף שנות ה- 60 נוצרה בארגון CCITT קבוצת עבודה מיוחדת (שנקראה SSG-D), שתפקידה היה להגדיר את ה- IDN. קבוצה זאת התייחסה רק לשילוב הספרתי שבין המרכזות לתמסורת, ולכן לא טיפלה בקווי המנוי, שהמשיכו להיות אנלוגיים.

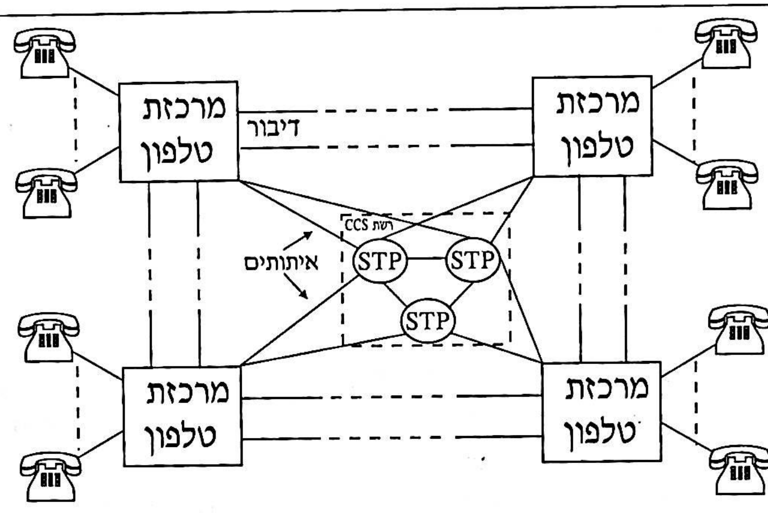
הערה: בשנת 1997 נסתיים עידן מרכזות הטלפון האנלוגיות הציבוריות בישראל, וב"בזק" פועלות רק מרכזות סיפרתיות.



ציור 7.2 - המרכזות הופכות סיפרתיות

ג. כל האיתותים ברשת הטלפון (בין המשתמש לבין המרכזת וכן בין המרכזות לבין עצמן) היו מלכתחילה In-Band, כלומר האיתותים מועברים ע"י שימוש בצלילים באותם האפיקים כמו שיחות הטלפון. שיטה זו הינה איטית וחשופה לשגיאות ושיבושים. בשנת 1976 הדגימה חב' AT&T בארה"ב את השימוש בשיטת CCS (Common Channel Signaling). בשיטה זו מעבירים את האיתותים בין המרכזות ב- Out-Of-Band, כלומר בנפרד מאפיקי הטלפון. ערוץ האיתותים הישיר בין המרכזות מאפשר להן לבדוק לפני הקמת הקשר האם כל האלמנטים הדרושים לצורך שיחת הטלפון הספציפית אכן פנויים,

וע״י כך משפרים את נצילות הרשת. בנוסף לכך הזמן הנדרש להקמת וניתוק שיחות התקצר מאוד ונוספו תכונות נוספות (כגון: ניתוב אלטרנטיבי במקרה של תקלה). לצורך כך הוקמה בארה״ב רשת CCS (שנקראה גם CCIS) המבוססת על מיתוג מנות, אשר טיפלה בהעברת האיתותים. הפרוטוקול שבו השתמשו ברשת CCS נקרא SS6 (Singaling System 6) והוא פעל בעזרת מודמים אנלוגיים בקצב 2.4/4.8 קסל״ש כמוגדר בתקנים Q.251 עד Q.300 של ITU-T. ציור 7.3 מתאר את רשת CCS, הכוללת בנוסף לרכזות הטלפון גם רכזות STP (Signal Transfer Point) הפועלות כמתגי-מנות ומטפלות בכל הודעות המיתוג (האיתותים).



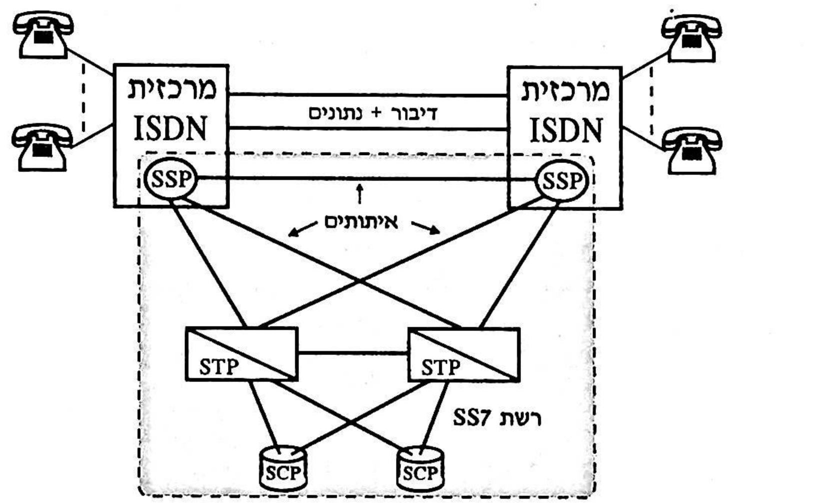
ציור 7.3 - רשת CCS (מבוססת על SS6)

כל מרכזת טלפון מתחברת ל-STP (אחד או יותר) בעזרת מודם נל״ן בקצב 2.4/4.8 קסל״ש, ועל קו זה מועברים כל האיתותים (Signaling) שבין מרכזת זאת ליתר המרכזות. האיתותים משודרים ל-STP בצורת מנות (Packets), וכל מנה מכילה עד 11 איתותים (כגון: התחל שיחה, תפוס, או נתק שיחה), השייכים כולם לזוג מרכזות מסויים. ה-STP מתפקד כמתג מנות, ותפקידו לנתב את האיתותים בין המרכזות מבלי לשנות את תוכנם. כדי להגדיל את אמינות הרשת ה-STP פועל בפרוטוקול מסוג Connectionless (בניגוד לרשת X.25 הפועלת בפרוטוקול Connection-Oriented כפי שראינו בפרק ה׳).

ד. פרוטוקול SS6 היה מותאם לעבודה על קווים אנלוגיים ולכן פעל באופן איטי (4.8 קסל״ש) והפונקציונליות שלו היתה מוגבלת. פרוטוקול זה הוחלף במשך הזמן בפרוטוקול מתקדם יותר הנקרא SS7 שפותח ע״י ה-ITU-T (סדרת התקנים Q.7XX). פרוטוקול SS7 עובד בקצבים מהירים יותר (עד 64 קסל״ש) והוא תוכנן לחבר בין מרכזות ISDN מתקדמות, מרכזות טלפון (PABX) וכן מחשבים. בנוסף הפרוטוקול מתוכנן לתמוך בשרותים מתקדמים, כגון: גישה למאגרי מידע פנימיים, תפעול ותחזוקת הרשת, שירותי רשת נבונה (IN), חיוב לקוחות (Billing) ועוד.

ציור 7.4 מתאר באופן עקרוני את מבנה רשת SS7. גם כאן משתמשים במתגי-מנות (STP) העובדים בפרוטוקול מסוג Connectionless בשלוש הרמות התחתונות, אולם פרוטוקול SS7 מכיל גם מרכיבים

נוספים וכן פרוטוקולים יעילים להעברת נתונים. רשת SS7 תחובר בהמשך גם למרכזי שירותים שונים, כך שהמשתמשים יוכלו להנות משרותי מיתוג מתקדמים, הרבה יותר ממה שקיים כיום.



ציור 7.4 - רשת האיתותים SS7

קווי המנויים מתחברים לרשת SS7 באמצעות SSP (Service Switching Point) המיושמים ברכזות הטלפון. ה-SSP שולח הודעת SS7 לאלמנט SSP אחר (המחובר אליו ישירות), או לרכזת המיתוג STP. ה-STP מנתב את ההודעה ברשת SS7, עד שמגיעה ליעדה: ל-STP אחר או ל-SCP (Service Control Point). ה-SCP מכיל את כל התוכנה והנתונים הדרושים לביצוע פונקציות של רשת נבונה (IN=Intelligent Network), לדוגמה: תרגום של מספר 800 (בארץ מספר 177) למספר מנוי, איתור מנוי סלולרי, אישור כרטיסי אשראי שונים ועוד. בכל שירות כזה, ה-SSP שולח הודעת Request ל-STP, וזה מפנה אותה ל-SCP. ה-SCP שולח הודעת Reply, שמגיעה חזרה דרך רשת SS7 ל-SSP היוזם. אפשר לראות את ה-SCP כ"שרת שירותים מתקדמים", ובמשך הזמן יתווספו לו שירותים מתקדמים אחרים, מבלי לשנות את ארכיטקטורת הרשת.

לסיכום, השיפורים של הפעלת רשת SS7 הם:

- הפרדה בין חומרת המתג לבין תוכנת האיתותים. כל שינוי או שיפור בפרוטוקול האיתותים לא יחייב שינוי כלשהו בארכיטקטורת החומרה של המתגים.
- שיפור האמינות של מנגנון האיתותים, ע"י הכנסת יתירות לרשת (גיבוי אפיקים, חיבור צולב של אלמנטים ועוד).
- קיצור משמעותי של זמני הקמת הקשר וניתוקו.
- כתוצאה מכך, אפיקי התמסורת (דיבור ונתונים) "נתפסים" לזמן יותר קצר, ונצילותם משתפרת.
- יכולת הניהול של רשת האיתותים שופרה.
- השימוש במסגרות ופרוטוקולים תקניים ברשת SS7 מאפשר הוספת שירותים נוספים, ללא שינוי ביתר מרכיבי המערכת.
- רשת האיתותים היא Scalable, כלומר ניתנת לגידול בקצבים, בטופולוגיה, בהוספת אלמנטים (SCP, STP), בשיפורי תוכנה, ועוד.

2. מהו ה-ISDN

בשנות ה-70 היה כבר ברור שצפוי גידול מהיר במכלול שרותי התקשורת הסיפרתיים (העברת נתונים, וידיאו, גרפיקה ופקס) בנוסף לשרותי הטלפון המסורתיים, ואז החלו המחשבות על רשת ציבורית בעלת שירותים משולבים. ה-ISDN, או בתרגומו העברי רסל״ם (רשת ספרתית לשרותים משולבים), אמור להשלים את האבולוציה של רשת הטלפונים ולהקנות לה ביצועים ושרותים שיענו על דרישות המשתמשים בשנות ה- 2000.

ה-ISDN תוכנן ונדחף ע״י ה-ITU-T (לשעבר CCITT), שראה בו רשת סיפרתית מקצה-לקצה, המשלבת שירותי דיבור ונתונים. תקני ISDN העיקריים אושרו ע״י ה-CCITT בשנת 1984, שופרו בשנת 1988, וקבוצות תקינה שונות (כגון EURO ISDN באירופה) ממשיכות בתקינה והתאמה למדינות השונות.

עקרונות ה-ISDN הם:

א. תקשורת סיפרתית מקצה-לקצה (כלומר מטלפון לטלפון), המבוססת על קצב של 64 קסל״ש או כפולותיו. משמעות הדבר - הקטנת מספר ההמרות אנלוגי/ספרתי ושיפור איכות התקשורת.

ב. שילוב סוגי מידע ושירותים שונים באותו תווך (קו המנוי).

ג. יכולת איתות של כל מנוי לרשת בכל שלב בתהליך התקשורת, באמצעות ערוץ איתותים מיוחד (ערוץ D), המופרד מערוצי העברת הנתונים. ההפרדה בין האיתותים והנתונים מתקיימת בכל רכזות הרשת.

ד. שימוש במספר מוגבל של מימשקים תקניים, שיאפשרו למשתמש קשר סימולטאני לדיבור, נתונים ושרותים אחרים.

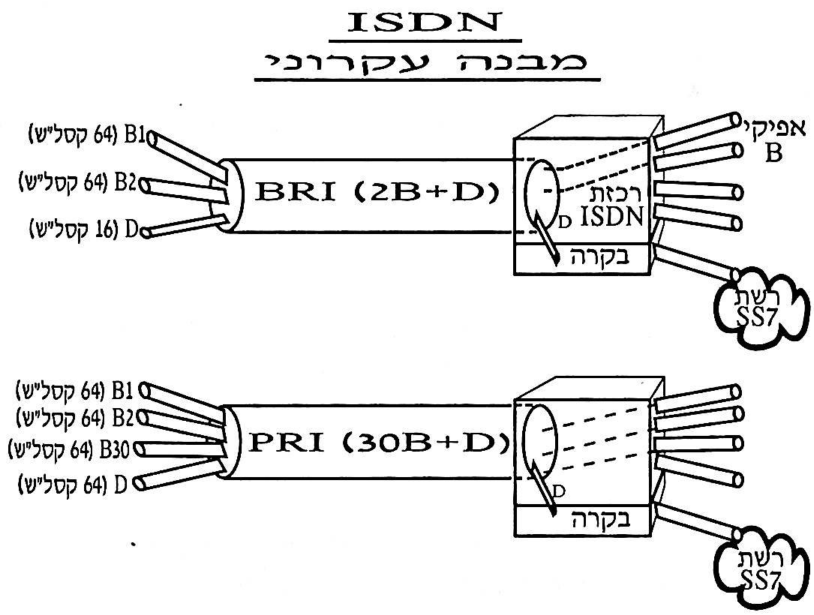
ה. שימוש בתשתית הקיימת של זוגות החוטים המותקנים בין הבתים לבין המרכזות. לדבר זה יש חשיבות כלכלית עצומה, מאחר והון רב מושקע בתשתית זאת.

ו. הרשת מסוגלת לבצע הן מיתוג-מעגלים והן מיתוג-מנות. פרוש הדבר שאפשר להשיג ע״י חיוג רוחב-סרט של 64 או 128 קסל״ש (לשם השוואה במודם ניתן לקבל רוחב-סרט של 33.6 קסל״ש בלבד).

ז. המעבר ל-ISDN מתוכנן להתבצע כתהליך אבולוציוני מתמשך.

3. מבנה כללי של ISDN

ציור מסי 7.5 מתאר מבנה עקרוני של ISDN. מהמרכזת הציבורית יוצאים ״צינורות״ סיפרתיים לכיוון בתי המנויים או המשרדים. כל ״צינור״ כזה מכיל את כל המידע הנכנס והיוצא לבית המנוי - שיחות טלפון, נתונים, פקסימליה, וידיאו, אזעקות וכו׳.



ציור 7.5 - מבנה עקרוני של ISDN

תקני ITU-T מגדירים שני סוגי "צינורות" כאלה:

א. **BRI (Basic Rate Interface)** - בעל רוחב סרט "נטו" של 144 קסל"ש. זהו התחליף לקו הטלפון הסטנדרטי המוכר לכולם, הפועל על זוג חוטים בודד (**2W**). **BRI** מורכב משלושה אפיקים נפרדים: שני אפיקים בעלי קיבול של 64 קסל"ש (הנקראים אפיק "**B**") ואפיק אחד בעל קיבול של 16 קסל"ש (הנקרא אפיק "**D**"). כל אחד מאפיקי **B** יכול לשאת שיחת טלפון, או שיחת נתונים בקצב 64 קסל"ש (פקסימיליה **G4**, וידאו, או ערוץ מחשב), והוא אינו מכיל איתותים (כלומר מכיל נתונים "נטו"). אפיק "**D**" הוא אפיק האיתותים, הפועל בפרוטוקול מיוחד הנקרא **LAP-D**. אפיק זה יכול לשאת גם מידע אחר (כגון: טלמטריה, **X.25**). ה-**BRI** נקרא גם לפעמים **2B+D**.

ב. **PRI (Primary Rate Interface)** - בעל רוחב סרט של 2 מסל"ש (באירופה) או 1.5 מסל"ש (בארה"ב). מימשק זה משמש בעיקר למשרדים שבהם מותקנת מרכזת פרטית (**PABX**). ה-**PRI** האירופי משמש להעברת 30 אפיקי **B** ואפיק **D** בודד (**30B+D**). ה- **PRI** האמריקאי תומך ב- 23 אפיקי **B** ואפיק **D** אחד (**23B+D**). אפיקי **D** במקרה זה הם בקיבול של 64 קסל"ש.

ניתן לאחד כמה אפיקי **B** ולקבל אפיקים תקניים רחבים יותר:

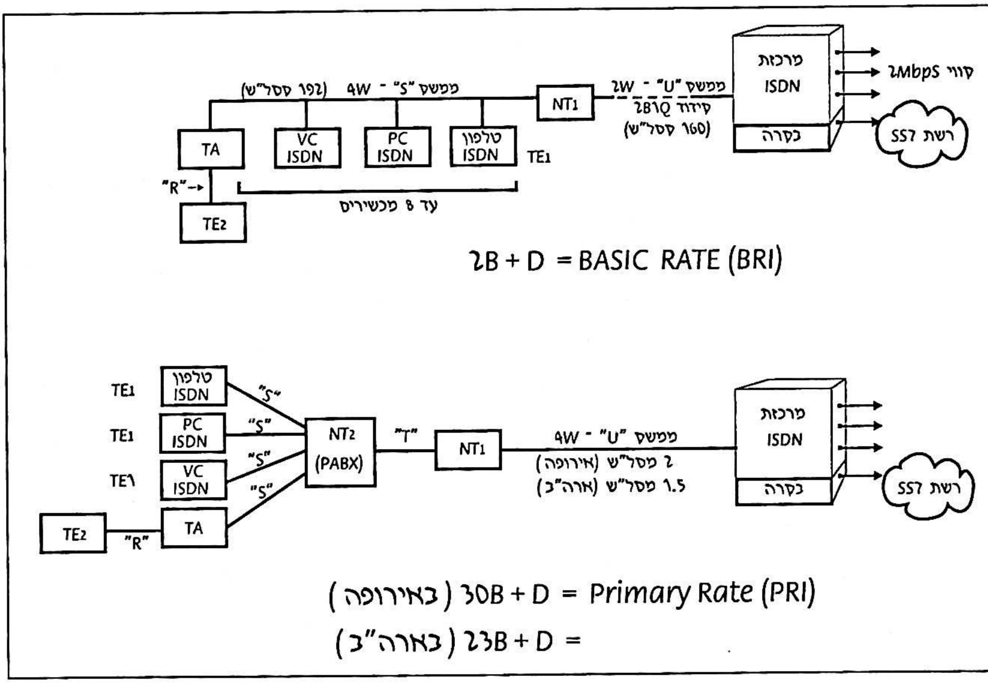
HO = 384 קסל"ש

H11 = 1536 קסל"ש

H12 = 1920 קסל"ש

4. נקודות ייחוס תקניות

ציור מסי 7.6 מפרט יותר את הממשקים התקניים המוגדרים ב-ITU-T. הממשק הביתי (BRI) מנצל את זוג החוטים (2W) הקיים בין המרכזת ובית המנוי. על גבי זוג חוטים זה מועבר האות בקצב של 160 קסל״ש (המורכב מ- 144 קסל״ש למידע ועוד 16 קסל״ש לבקרה) בשיטות קידוד המנצלות טכנולוגיות מתוחכמות של ביטול הד (Echo Canceling). בשנת 1988 אושר ב-CCITT תקן להעברת האותות בשיטה הנקראת 2B1Q, המאפשרת תמסורת לטווחים של עד כ- 6 ק״מ על זוג חוטים.



ציור 7.6 - ממשקי ISDN

ציור מסי 7.6 מגדיר את נקודות הייחוס התקניות ואת הציודים התקניים:

א. U - הוא קו התמסורת בין המרכזת לבין בית המנוי או המשרד (2W ל-BRI, 4W ל-PRI). קצב העברת הנתונים בו הוא 160 קסל״ש (בממשק BRI) או 2 מסל״ש (בממשק PRI אירופי).

ב. NT1 - הוא ציוד תאום השייך לחברת הטלפון. למעשה זהו מודם מיוחד לטווח קצר, המתאם בין ממשק "U" (2W) לבין ממשק "S" (4W).

ג. S- הוא המימשק הביתי, הבנוי בצורת bus פסיבי בעל 4 חוטים (4W). ל- bus זה יכולים להתחבר עד 8 ציודי קצה (TE), היכולים להיות מסופי ISDN תקניים מסוגים שונים (TE1), או מסופים שאינם ISDN (TE2) באמצעות יחידת תיאום (TA). קצב הנתונים בממשק S הוא 192 קסל״ש, שמתוכם מנוצלים 144 קסל״ש למידע ואיתותים (2B+D) והיתר (48 קסל״ש) מנוצל לבקרת גישה, יצירת מסגרות וסינכרון.

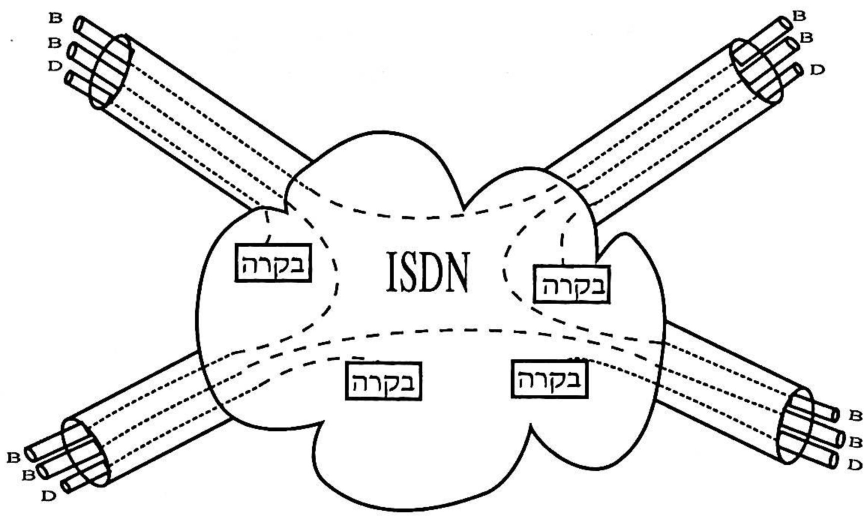
ד. R - מציין ממשק קיים, כגון: RS-232, X.25 וכוי. יחידת התיאום (Terminal Adapter=TA) תפקידה לאפשר לציוד קיים לעבוד ברשת ISDN, ע״י תאום הממשק ל- S-bus.

ה. **NT2** - מייצג מרכזת **ISDN** פרטית, שכל השלוחות היוצאות ממנה פועלות בממשק **S**. לכל שלוחה יכול להתחבר מסוף **ISDN** (**TE1**), או מסוף שאינו **ISDN** (**TE2**) באמצעות יחידת תאום (**TA**). **NT2** יכול להיות גם ציוד תקשורת פרטי אחר (כגון **Router**).

ו. **T** - מוגדר כממשק שבין **NT1** לבין **NT2**, והוא זהה מבחינה חשמלית לממשק **S**. לעיתים מאחדים את **NT1** ו- **NT2** ליחידה אחת הנקראת **NT12**.

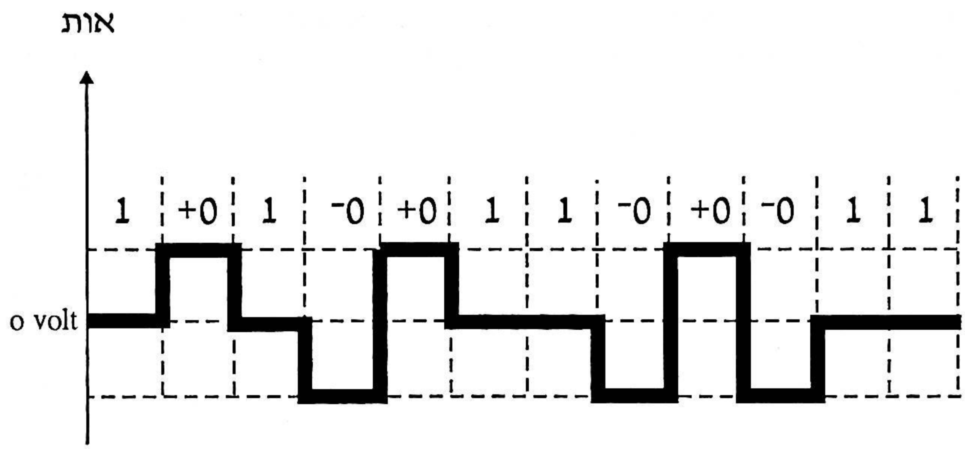
5. כיצד פועל ה- S-BUS

המימשק הביתי (**U**) תומך כאמור לעיל בשני אפיקי **B** ואפיק **D** אחד (**2B+D**). בתוך הבית הוא מתפצל ל- **S-bus** שאליו מחוברים עד 8 מסופים, שלכל אחד מהם יש זכות כניסה שווה לרשת. ברגע שמסוף מסויים רוצה להתחבר לרשת, הוא שולח הודעה באפיק **D** ותופס את אחד משני אפיקי **B** הקיימים. אם נדרש - הוא יכול לנצל גם את אפיק **B** השני בו-זמנית, ולשדר בו לכל כוון שירצה, כפי שמתואר סכמטית בציור 7.7. האיתותים באפיק **D** בין כל אחד מהמסופים לבין הרשת, קובעים מי "יתפוס" את האפיקים הפנויים ולאיזה כוון יתקשר. אפשר לכן לראות את המימשק הביתי כמרכזת קטנה, בעלת 8 שלוחות פנים ו- 2 קווי חוץ (בקיבול 64 קסל"ש כל אחד).



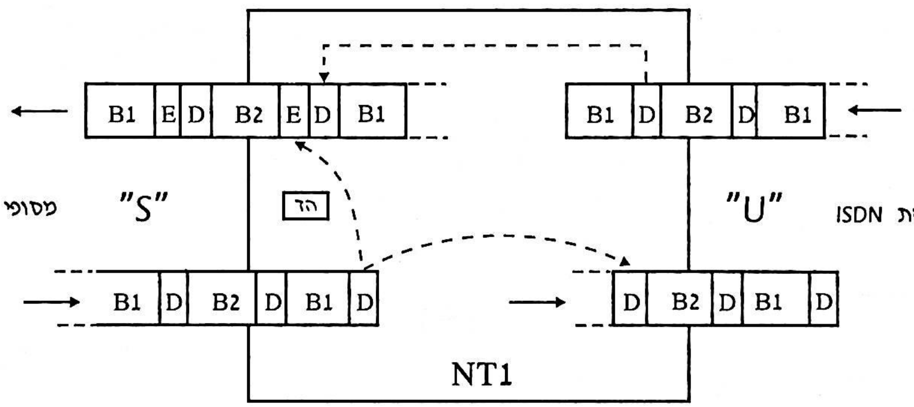
ציור 7.7 - אפיקי **B** מנותבים לכוונים שונים

ממשק **S** פועל כ- **bus** פסיבי בעל 4 חוטים (**4W**) ויש לו אופציה להעברת מתח הזנה ב- 4 חוטים נוספים. קצב הנתונים הוא 192 קסל"ש דו-מגמי (**Full Duplex**), ושיטת הקידוד שבה משתמשים נקראת **Pseudo-Ternary Code** (ראה ציור 7.8). בשיטה זו מוגדרים שלושה מצבים: "1" (מצב הייחוס, **0 Volt**), "0+" (מתח חיובי) ו-"0-" (מתח שלילי). במקרה של "0" עוקבים משתנה רמת המתח מחיובי לשלילי (ולהיפך), ועבור "1" עוקבים - רמת המתח נשארת **0 Volt**.



ציור 7.8 - שיטת הקידוד בממשק S

הנתונים זורמים בכל כיוון במסגרות בעלות 48 סיביות, שאורכן 250 מיקרושניה, ולכן יש 4000 מסגרות בשניה (1 שנייה מחולק באורך המסגרת). הקצב הכולל בממשק S הוא 192 קסל״ש (48X4000). בתוך כל מסגרת כזאת מוקצות 16 סיביות (שתי שמיניות) לכל ערוץ B ו- 4 סיביות לערוץ D. מכאן ברור שקצב כל ערוץ B הוא 64 קסל״ש (16X4000), וקצב ערוץ D הוא 16 קסל״ש (4X4000). בערוץ השידור מכוון ה- NT1 לכוון המסופים הוקצו בכל מסגרת 4 סיביות נוספות שנקראות E (שאינן קיימות בכוון ההפוך). סיביות אלה הן ״הד״ של סיביות D המגיעות מכיוון המסופים, ותפקידן לסייע בפרוטוקול הגישה של המסופים לערוץ D. פעולת ה״הד״ מתבצעת ע״י NT1 כמתואר בציור מס׳ 7.9.



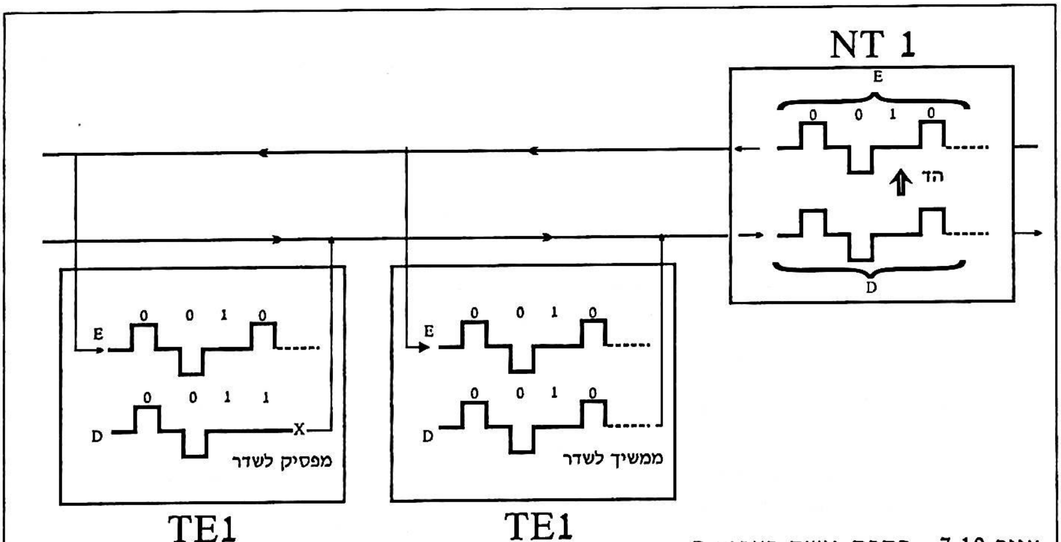
ציור 7.9 - פעולת ה״הד״ של NT1

כפי שנראה מהציור, סיביות D שמתקבלות מכוון רכזת ISDN (ממשק "U") משובצות ע"י ה- NT1 בתוך מסגרת ה-S המשודרת לכוון המסופים. סיביות D שמגיעות מכוון המסופים מועברות ע"י ה- NT1 לכוון הרכזת, אולם במקביל הן משובצות כסיביות E בתוך המסגרות החוזרות לכוון המסופים, לאחר שמתבצעת עליהן פעולת "הד".

מהי פעולת ה"הד"?

כאמור לעיל, כל המסופים מחוברים במקביל ל- S-bus, לכן יש להם זכות גישה שווה לערוץ D. כאשר מסוף אינו משדר בערוץ D הרמה הלוגית שלו היא "1" (0 Volt), וכאשר הוא משדר - יופיע על הקו אות כמתואר בציור 7.8. נניח שכל המסופים אינם משדרים, ואז כל סיביות D בכוון אל NT1 הן בערך לוגי "1" (0 Volt). ה- NT1 יעתיק את סיביות D לסיביות E בכוון ההפוך, ויתן להן את הערך "1", שפירושו: ערוץ D פנוי. כאשר מסוף מסוים רוצה לשדר בערוץ D עליו לוודא תחילה שהערוץ פנוי, ולשם כך עליו לספור לפחות 8 סיביות E עוקבות בעלות ערך "1". לאחר מכן מותר למסוף לשדר, וסיביות D שלו מועתקות לסיביות E ע"י NT1 (בהנחה שיתר המסופים נשארים במצב "1").

כל מסוף מאזין כל הזמן לסיביות E ומשווה עם סיביות D שהוא עצמו שידר. כל זמן שהסיביות זהות (D=E) - מותר לו להמשיך ולשדר. אולם אם הוא מגלה חוסר התאמה (כלומר סיבית E שנקלטה שונה מסיבית D ששודרה על ידו) - עליו להפסיק מיד לשדר, כיוון שהשוני בסיביות מראה שמסוף אחר החל לשדר בדיוק באותו הזמן (תופעה הנקראת "התנגשות" - Collision). הלוגיקה הזאת נקראת Contention Resolution, והיא מבטיחה שרק מסוף אחד יכול לשדר הודעה בערוץ D ברגע מסוים.



ציור 7.10 - בקרת גישה בערוץ D

לאחר שהמסוף הצליח לשדר הודעה בערוץ D, העדיפות שלו יורדת, ועליו לספור יותר סיביות "1" עוקבות בערוץ E לפני שיוכל לשדר פעם נוספת (לדוגמה 9 סיביות במקום 8). המסוף יחזור לעדיפות הרגילה שלו (8 סיביות) רק לאחר שכל יתר המסופים על ה- S-bus שידרו הודעות בערוץ D או לאחר ששודרו

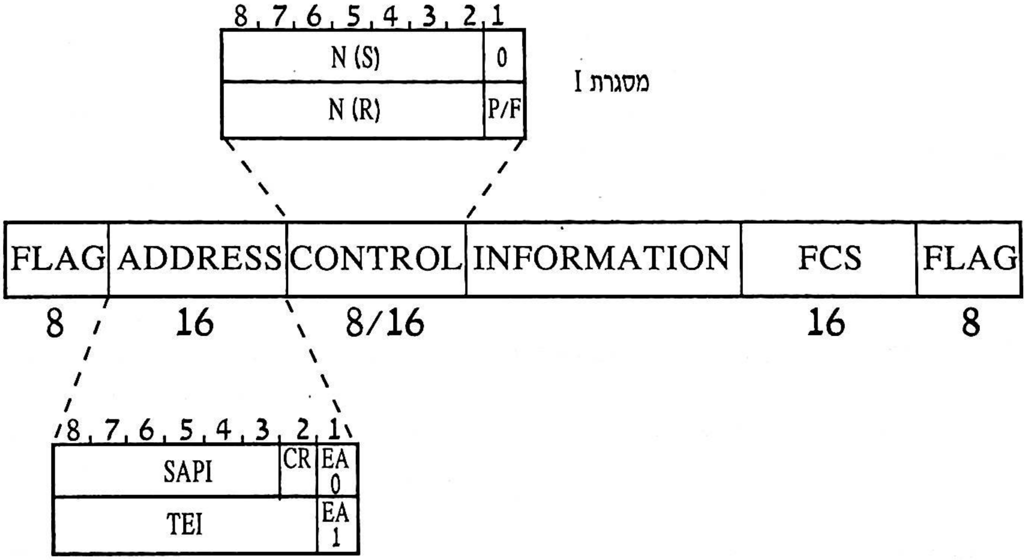
11 סיביות "1" עוקבות בערוץ E (ואז כל המסופים חוזרים לעדיפות הרגילה שלהם). על ידי כך הפרוטוקול מבטיח זכות גישה שווה לערוץ D (וכמובן לרשת) לכל המסופים. פרוטוקול הגישה בשלמותו עבור BRI (2B+D) מוגדר בתקן I.430 של ITU-T, ועבור PRI (30B+D) בתקן I.431 ושניהם מהווים את הרמה הפיזית (הרמה הראשונה) של תקני ISDN.

6. פרוטוקול LAP-D

לאחר שהמסוף קיבל זכות שידור בערוץ D (כפי שתואר בפיסקה הקודמת) הוא מתחיל לשדר מסגרות בהתאם לפרוטוקול הנקרא LAP-D. פרוטוקול LAP-D פועל ברמה השניה ומאפשר שידור מסגרות (Frames) בין האלמנטים השונים על גבי ערוץ D. מסגרות אלה משמשות בעיקר להעברת איתותים לצורך יצירת וניתוק הקשר, אפשר להעביר בהן גם נתוני טלמטריה ו- X.25 בקצב נמוך, אך הן אינן משמשות להעברת נתוני המשתמש (דבר המתבצע בערוצי B). פרוטוקול LAP-D נגזר מהפרוטוקול הידוע HDLC, והוא מוגדר בתקני ITU-T: I.440/I.441 (או Q.920/Q.921 הזהים להם).

הפרוטוקול מגדיר 3 סוגים של מסגרות (כפי שכבר ראינו ב- HDLC, SDLC ו- LAP-B):

- U (Unnumbered) - מסגרות לא מסופררות המשמשות לחיבור הקו או ניתוקו.
- S (Supervisory) - מסגרות בקרה, הכוללות ספרור קליטה בלבד.
- I (Information) - מסגרות מידע, הכוללות ספרור שידור וקליטה.



ציור 7.11 - מבנה מסגרת LAP-D (Q.921)

ציור 7.11 מתאר את מבנה מסגרת LAP-D. שדה ה- CONTROL הוא זה שקובע את סוג המסגרת (S, U או I), כפי שהדבר נעשה ב- HDLC וב- LAP-B (ראה פרק ג' פיסקה 2 ופרק ה' פיסקה 4), והוא יכול להיות באורך 8 סיביות (במסגרות U) או 16 סיביות (במסגרות S ו-I). במסגרות מסוג I יש 7 סיביות ספרור N(S) ו- N(R), ולכן אפשר לשדר עד 128 מסגרות רצופות בכל כיוון בטרם צריך לקבל אישור (תהליך הנקרא Modulo 128).

שדה הכתובת (ADDRESS) מכיל 16 סיביות, הכוללות את מציין SAPI (Service Access Point Identifier) ומציין TEI (Terminal End-point Identifier).

ה- SAPI הוא שדה באורך 6 סיביות המציין את סוג השירות:

SAPI	שירות
0	איתותים
16	נתונים בפרוטוקול X.25
63	ניהול

ה- TEI (באורך 9 סיביות) מגדיר את ציוד הקצה ומאפשר ריבוב מספר אפיקי D לוגיים לאפיק D פיזי אחד:

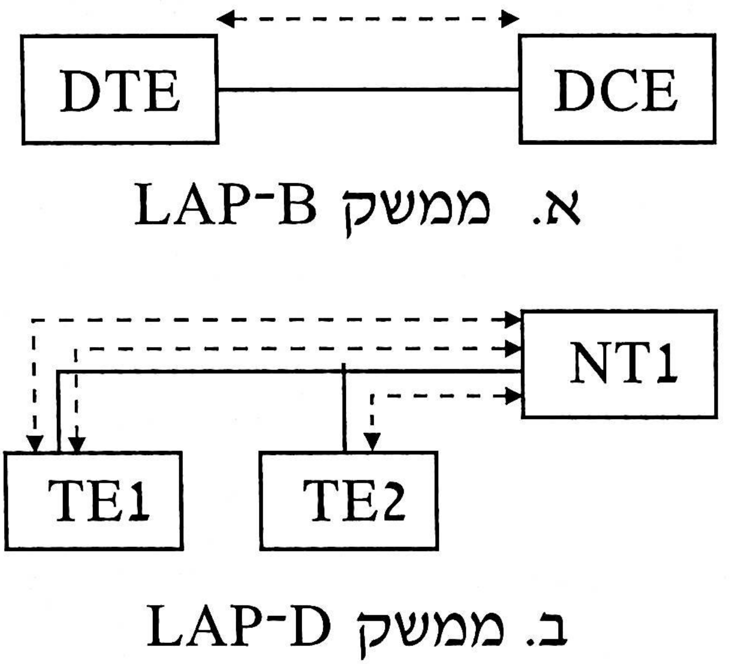
TEI	סוג ציוד קצה
0-63	בעל הקצאה לא אוטומטית (נבחר ע"י המשתמש)
64-126	בעל הקצאה אוטומטית (נבחר ע"י הרשת)
127	משדר Broadcast (לכל המסופים המחוברים על הממשק)

הפעילות על ערוץ D מתחילה באתחול, בצורה דומה למתואר בציורים 3.4 ו- 5.6:

- מסגרת U הכוללת פקודת SABME (modulo 128) מפעילה את הצד השני ומאפסת את המונים של N(S) ו- N(R).
- מסגרת U הכוללת אישור UA מוחזרת ומאפסת את המונים בצד הראשון.
- מתחילה תקשורת בין שני הצדדים ע"י שידור מסגרות I מסופררות, ואישורים (או בקשות לשידור חוזר) בעזרת מסגרות S.
- כאשר אין יותר צורך בתקשורת, יכול כל צד לנתק ע"י שידור פקודת DISC בתוך מסגרת U. הצד השני שולח אישור ע"י הצרוף UA בתוך מסגרת U.

שים לב להבדל עקרוני בין פעולת LAP-B (כמו ברשת X.25) לבין פעולת LAP-D: בממשק LAP-B יכול להתקיים רק קשר **אחד** ברמת המסגרת (הרמה השנייה) בין ה- DTE וה-DCE. המסגרות מכילות אמנם מנות השייכות למעגלים לוגיים שונים (ברמה השלישית), אך המסגרות החולפות בקו מסופררות ברצף.

לעומת זאת בממשק **LAP-D**, מאחר והוא עובד בטופולוגיה של **Point-to Multipoint**, יכולים להתקיים מספר קשרים ברמת המסגרת בעת ובעונה אחת: בין **NT1** לבין **TE1**, בין **NT1** לבין **TE2** וכו' (ראה ציור 7.12) יתרה מכך, **TE** מסויים יכול לנהל 2 קשרים (או יותר) עם ה- **NT1**. ברור שבכל קשר כזה מתבצע ספרור נפרד למסגרות, וכל האתחולים, האישורים, בקשות לשידור חוזר וכו' מתבצעים על כל קשר בנפרד.



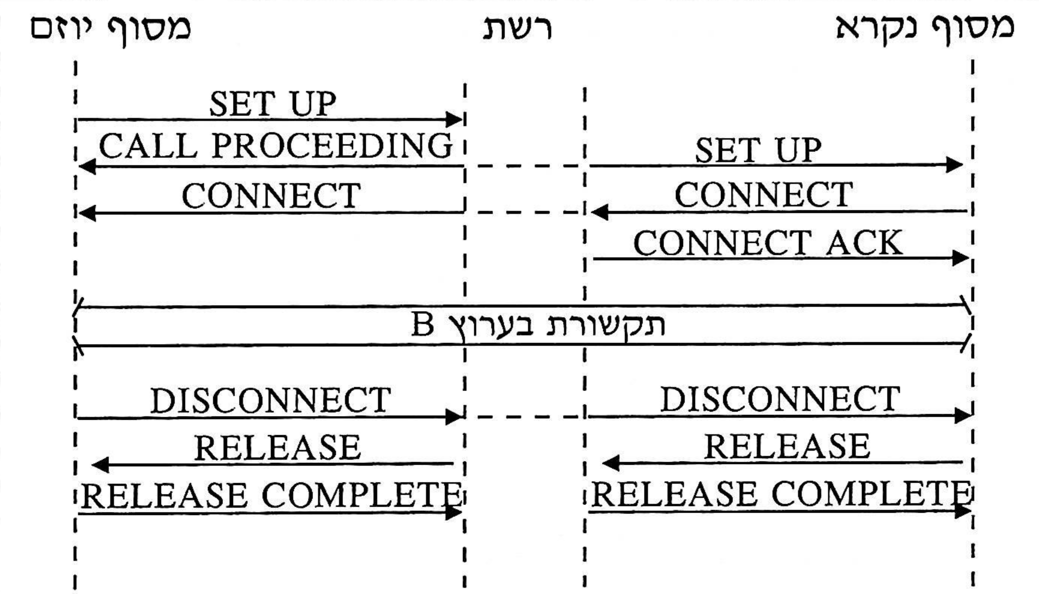
ציור 7.12 - קשרים ברמת המסגרת

כדי להבדיל בין הקשרים השונים הקיימים בממשק פיזי אחד של **LAP-D** (או במילים אחרות **S-bus**), נחלק שדה הכתובות לשני מרכיבים: **SAPI** ו-**TEI** כפי שתואר לעיל. ה- **DLCI** (שאותו הכרנו בפרק על **Frame Relay**) הוא בעצם צרוף שני המרכיבים הנ"ל. ברור שמסוף **ISDN** המריץ מספר יישומים שונים, חייב לעבוד עם כמה **DLCI** מול ה- **NT1**. גם כאן (כמו ב-**FR**) ל-**DLCI** יש משמעות מקומית בלבד, והממשק נקרא גם **UNI** (**User-Network Interface**).

7. איתותי ISDN ברמה השלישית

פרוטוקול **LAP-D** (שתואר בפיסקה הקודמת) דואג להעברת מסגרות בין מסופי **ISDN** לבין ציוד הרשת. כל מסגרת מכילה מנה (**Packet**) שהיא הודעת איתות מסויימת, ושידור המנות בין האלמנטים השונים ברשת יוצר את תהליכי ההתקשרות והניתוק.

ציור 7.13 מדגים תהליך התקשרות וניתוק בין שני מסופי ISDN (ברמה השלישית).



ציור 7.13 - תהליך התקשרות ב- ISDN (ברמה השלישית)

המנוי היוזם שולח הודעת SETUP, המכילה את מספרו ואת מספר המנוי הנקרא בהתאם לספרור E.164 של ITU-T, וכן מידע נוסף הדרוש לצורך יצירת הקשר (כגון: סוג המסוף). רכזת ה- ISDN הקרובה בודקת את הודעת ה-SETUP (האם היא מכילה את כל המידע הנדרש) ומאשרת קבלתה למסוף היוזם ע"י הודעת Call Proceeding. הודעת ה-SETUP מנותבת ברשת, עד שלבסוף היא מגיעה למסוף הנקרא, המאשר קבלה ע"י שליחת הודעת CONNECT. הודעת CONNECT מנותבת בחזרה למנוי היוזם ובמקביל המנוי הנקרא מקבל אישור (Connect Ack) מהרכזת שלו, הכולל גם את מספר ערוץ ה-B שבו תתנהל השיחה.

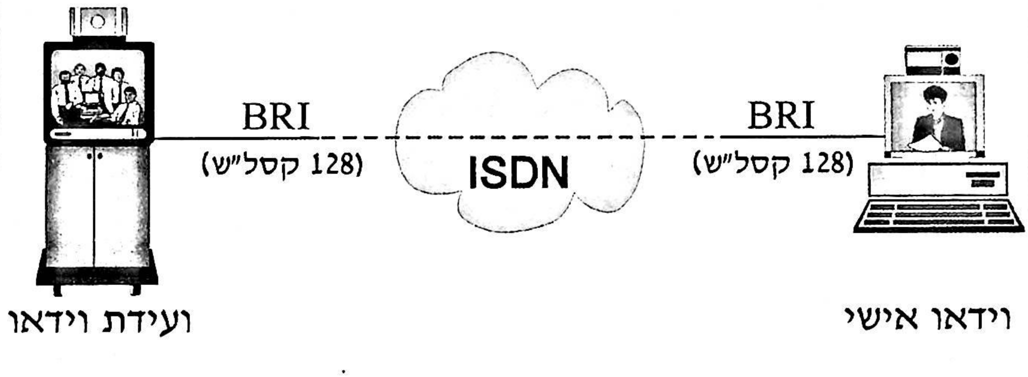
לאחר סיום השיחה יכול כל אחד מהמסופים לנתק, ואז נשלחת הודעת Disconnect לרשת ולצד השני. להשלמת הניתוק נשלחות גם הודעות Release ו- Release Complete כמתואר בציור 7.13.

8. יישומי ISDN

העברת נתונים בחיוג על קו טלפון רגיל אפשרית כיום בקצבים של עד 33.6 קסל"ש. ה-ISDN, לעומת זאת, מאפשר קבלת רוחבי-סרט של 64 או 128 קסל"ש בחיוג, ואפילו כפולות שלהם (256, 384 ו- 512 קסל"ש). רוחבי -סרט גבוהים אלה וזמן החיבור הקצר של ISDN (פחות מ- 1 שנייה) מאפשרים יישומים שאינם ניתנים למימוש על רשת הטלפון הרגילה.

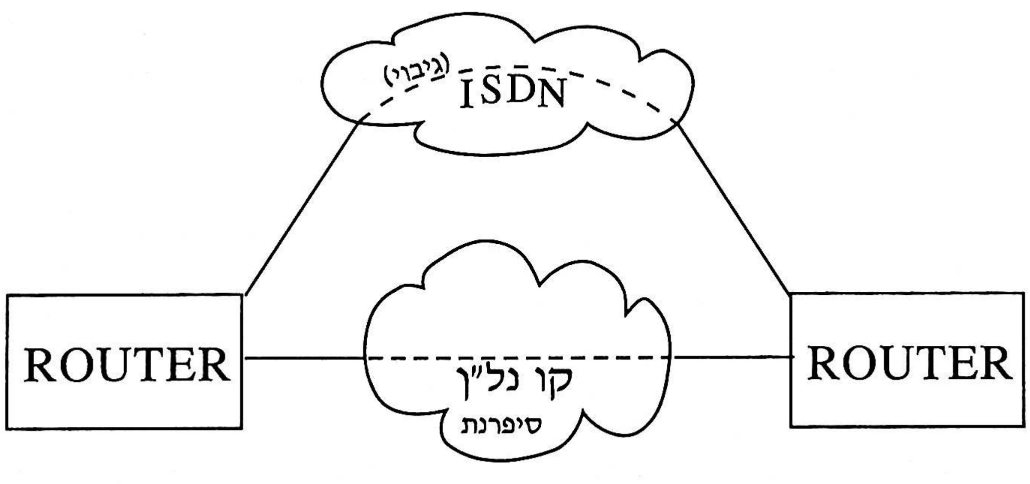
אחד היישומים הנפוצים כיום ב- ISDN הוא שיחות ועידה (Video Conferencing). בטכנולוגיה הנוכחית ניתן לדחוס אותות וידאו ולשדרם בקצבים של 128 קסל"ש ומעלה, לקבלת תמונות באיכות טובה. אם כמות שיחות הועידה היא גדולה - רצוי להשתמש בקו נל"ן (כגון "סיפרנתי"). אולם אם השימוש הוא

נמוך, והשיחות מופנות ליעדים שונים - יותר כלכלי להשתמש ברשת ה-ISDN. מערכת ועידת-וידאו יכולה להיות ייעודית (כמקובל בחדרי דיונים), או אישית, שבה ה-PC נהפך למסוף וידאו. בכל מקרה לציוד יש אפשרות לחייג ברשת ISDN לכל מערכת ועידת-וידאו אחרת המותקנת בכל מקום בעולם, והמצויידת אף-היא בממשק ISDN (ראה ציור 7.14).



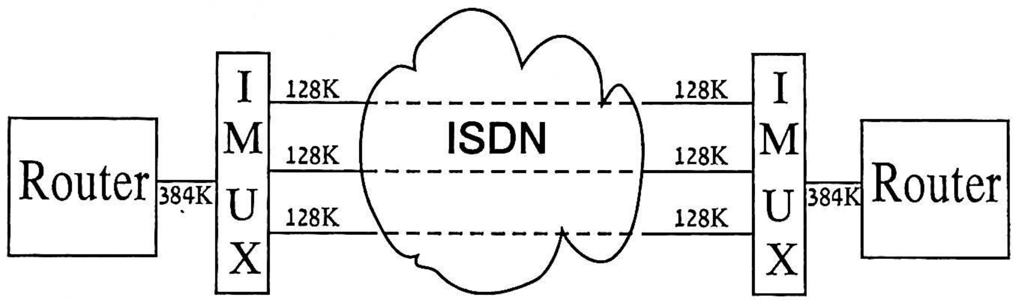
ציור 7.14 - ועידת -וידאו ברשת ISDN

יישום נפוץ אחר הוא שימוש ברשת ISDN לצורך גיבוי או קבלת רוחב-סרט נוסף לזמן קצר. ציור 7.15 מתאר שני נתבים (Routers) המחוברים באופן קבוע בקו "סיפרנת" בקצב 64 קסל״ש. נתבים משמשים לחיבור רשתות-מקומיות (LAN) ונכיר אותם באחד הפרקים הבאים. הם זקוקים לרוחבי-סרט משתנים, בהתאם לכמות המידע העובר דרכם, ולכן מקובל לחבר אותם בקווי נל״ן (כגון "סיפרנת"). כדי לגבות את המערכת, ניתן להפעיל בחיוג קו ISDN בזמן נפילת קו "סיפרנת", או כאשר יש דרישה זמנית לרוחב-סרט נוסף. ציור 7.15 מתאר את היישום הזה.



ציור 7.15 - שימוש בקו ISDN לגיבוי

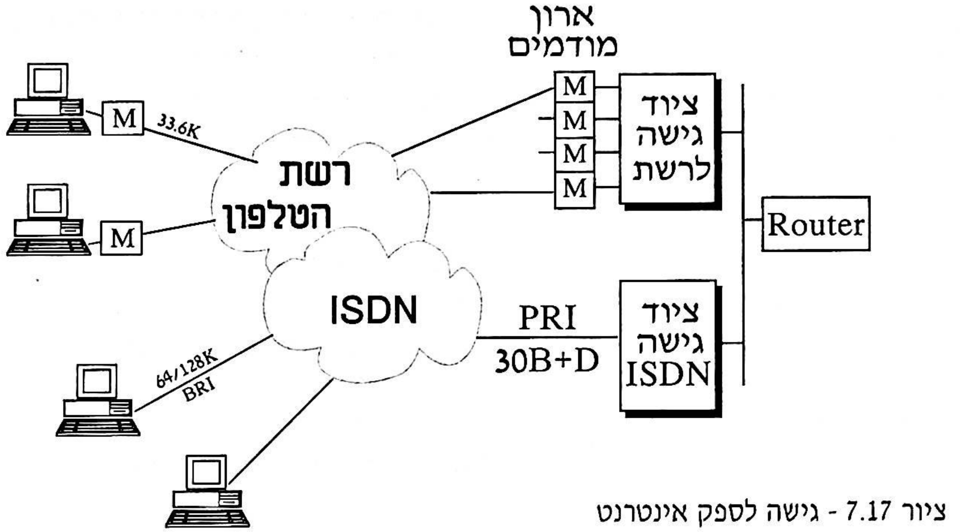
כדי לקבל רוחב-סרט גבוה יותר ברשת ISDN, ניתן להשתמש במרבב-הפוך (Inverse Mux או IMUX). ציור 7.16 מתאר זוג מכשירי IMUX, המספק רוחב-סרט של 384 קסל"ש בחיוג תוך שימוש ב- 3 קווי ISDN (או 6 ערוצי B). ה-IMUX מחייג בכל קו בנפרד, ולאחר הקמת הקשר על כל הקווים, הוא מחלק את רוחב-הסרט של 384 קסל"ש ביניהם בצורה שווה. ה-IMUX בצד השני מאגד את המידע בכל הקווים חזרה לזרם של 384 קסל"ש, כך שהמשתמש אינו מרגיש שהמידע פוצל.



ציור 7.16 - פעולת IMUX

ה-IMUX משמש לקבלת רוחב-סרט גבוה לשיחות ועידת-וידאו, כדי לשפר את איכות התמונה. הוא גם יכול לשמש כגיבוי לקווי נל"ן, או לגלישה (Overflow) כאשר יש כמות גבוהה של מידע לזמן קצר. כדי ליצור תאימות בין IMUX של יצרנים שונים, פורסם תקן (ANSI TR 41.4) הנקרא גם BONDING (Bandwidth On Demand Interoperability-Group) המגדיר את צורת העבודה, הסינכרון, תקון שגיאות וכו'.

יכולת העברת הנתונים הגבוהה של ה-ISDN תנוצל לצורך גישה לאינטרנט בקצבים גבוהים. ספקי האינטרנט (Internet Service Providers = ISP) מתקינים באתרים שלהם ציוד גישה (Remote Access) המחובר לרשת "בזק" בממשקי PRI. הדבר חוסך עלויות של התקנת קווים, מודמים, מגשרים וכו', ומאפשר גישה בקצבים גבוהים ממסופי ISDN או משתמשים עם מודמים רגילים. ציור 7.17 מתאר מערכת גישה של ספק אינטרנט המבוססת על ממשק ISDN וכן על גישה בעזרת מודמים רגילים.



ציור 7.17 - גישה לספק אינטרנט

ממשק PRI בודד יכול לשרת עד 30 משתמשים בו-זמנית, כל אחד בקצב של 64 קסל"ש. כדי לקבל אותה פונקציונליות זקוקים לארון עם 30 מודמים וחיבורים לרשת הטלפון ולציוד הגישה, וגם אז הקצב המקסימלי יהיה רק 33.6 קסל"ש. יתרה מכך, ציוד הגישה בשיטת ISDN מסוגל גם במקרים מסויימים לתמוך במשתמשים עם מודמים רגילים, וזאת במידה ומשולבים בו מודמים סיפרתיים (העובדים מול המודמים האנלוגיים בצד המשתמש).

תכונה חשובה אחרת המנוצלת ב- ISDN היא הצגת מספר הטלפון של המנוי הקורא בשעה שהטלפון מצלצל (או אף שמו וכתובתו). דבר זה מתאפשר בגלל אפיק D, שדרכו יכול המנוי הנקרא לקבל נתונים מהרשת (ראה ציור 7.13). אם הטלפון של המנוי הנקרא מחובר למחשב, ניתן להציג קובץ שלם השייך למנוי הקורא בזמן שהטלפון מצלצל. פקיד בבנק יכול למשל לקבל שיחת טלפון ISDN מאחד מלקוחותיו, ותוך כדי צלצול הטלפון מוצג לפניו קובץ כל ניירות הערך של אותו לקוח. רופא יכול תוך כדי קבלת שיחה לראות על המסך את התיק הרפואי של המטופל שלו, ההיסטוריה הרפואית, כתובת, טלפון ועוד.

שרותים אחרים האפשריים ב-ISDN יהיו: העברת שיחות, שיחות ועידה בנות כמה משתתפים, שיחת טלפון המשולבת בהעברת נתונים, שירותי דואר אלקטרוני, מזכירה אלקטרונית, פקסימליה מהירה (G4), שיחות ועידה רבות משתתפים בוידיאו, שירות יקיצה אוטומטי ועוד ועוד.

שירותי טלמטריה ימצאו גם הם את פתרונם ברשת ISDN. יהיה ניתן לקרוא מונים מרחוק (חשמל, מים, גז וכו') ולהעביר את תוצאות הקריאה באפיק D לכל מאגר מידע. שירותי אזעקות ושירותי בקרה מרחוק יוכלו אף הם להינתן ברשת, כולל אזעקות רפואיות שתוכלנה לקבל אפיק תקשורת מיידי.

חלק מהיישומים שתוארו לעיל ניתנים לביצוע כבר היום, אך הם דורשים ציוד מיוחד ורשתות תקשורת נפרדות. מטרת ה-ISDN היא לשלב את כל אותם שירותים ולהפכם לנחלת הכלל, באיכות גבוהה ובמחיר השווה כל נפש.

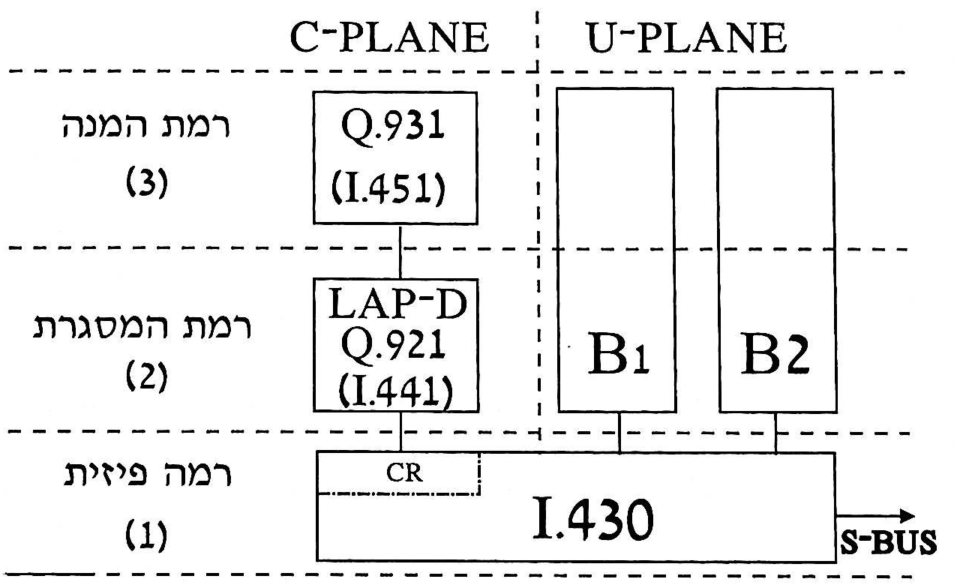
9. מבנה רמות הפרוטוקולים של ISDN

בפרקים הקודמים ראינו את מבנה הפרוטוקולים של X.25 ו-FR, ובציור 6.11 מתוארות רמות פרוטוקולים אלה. ב-ISDN המצב שונה, משום שקיימת הפרדה בין הטיפול באיתותים לבין הטיפול במידע עצמו.

ברמה הראשונה (הרמה הפיזית) מוגדרים הפרוטוקולים I.430 (עבור BRI) ו- I.431 (עבור PRI). פרוטוקול I.430 מגדיר את הפעילות בממשק S וכפי שראינו הוא תומך בשני ערוצי B וערוץ D (2B+D). כדי ליצור התקשרות חייב המסוף להיכנס תחילה לערוץ D - תוך תחרות עם מסופים אחרים (תהליך הנקרא CR = Contention Resolution) כפי שהוסבר בפיסקה 5. לאחר מכן משודרות בערוץ D מסגרות LAP-D (המוגדרות בתקן Q.921) ובתוכן מנות המטפלות באיתותים ליצירת הקשר (כמוגדר בתקן Q.931). לאחר שהקשר נוצר, ערוץ B מקבל את הקצאת הסיביות שלו (64 קסל״ש) בתוך ממשק S בשיטת TDM, כלומר ״שקוף״ לחלוטין, ללא צורך בהגדרת מסגרות ברמה השניה.

לסיכום, ערוץ D וערוץ B מנצלים את ממשק S בצורה שונה: ערוץ D משדר על ממשק S מסגרות בקרה (לפי תקן Q.921) ובתוכן מנות בקרה (כמוגדר בתקן Q.931), ואילו ערוץ B משדר בממשק S רצף של סיביות נתונים ללא מסגור. קיימת איפוא הפרדה בין העברת הנתונים (המבוצעת בערוצי B) לבין מנגנון האיתותים המשמש להקמת וניתוק שיחות (המתבצע בערוץ D). הפרדה כזאת בין ערוץ האיתותים לבין ערוץ העברת הנתונים נקראת Out of Band, והיא מאפיינת את מערכות התקשורת המתקדמות (כגון FR ו-ATM כפי שנראה בהמשך).

ציור 7.18 מתאר את מבנה הפרוטוקולים של ISDN כפי שתואר לעיל, עבור ממשק BRI.

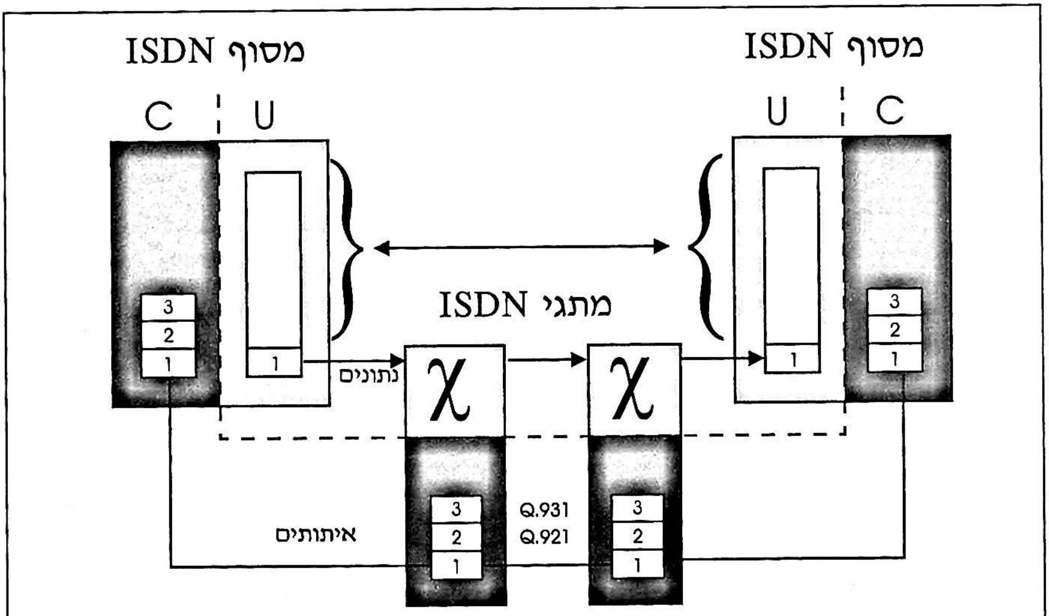


ציור 7.18 - פרוטוקולי ISDN

בציור 7.18 מתוארים שני מנגנונים:

- מנגנון האיתותים, הנקרא **C-Plane (Control Plane)** המטפל בהעברת האיתותים ברשת לצורך הקמת קשרים וניתוקם.
- מנגנון העברת הנתונים של המשתמש הנקרא **U-Plane (User Plane)**.

כפי שכבר ראינו, מנגנון האיתותים מורכב משלוש רמות, המנצלות את ערוץ **D**, אולם מנגנון העברת הנתונים אינו מחולק לרמות. כאשר מוקם קשר והמשתמש מקבל זכות שימוש בערוץ **B1** או **B2**, הוא יכול לשדר על ה- **S-bus** כל סוג של נתונים. זרם הנתונים של המשתמש עובר ברשת בצורה שקופה (ללא כל שינוי או עיבוד) בקצב של 64 קסל"ש. העברת נתונים "שקופה" כזאת בערוץ **B** דומה להעברת נתונים ברשת הטלפון, ולכן היא נקראת "מיתוג-מעגלים" **(Circuit Switching)**.

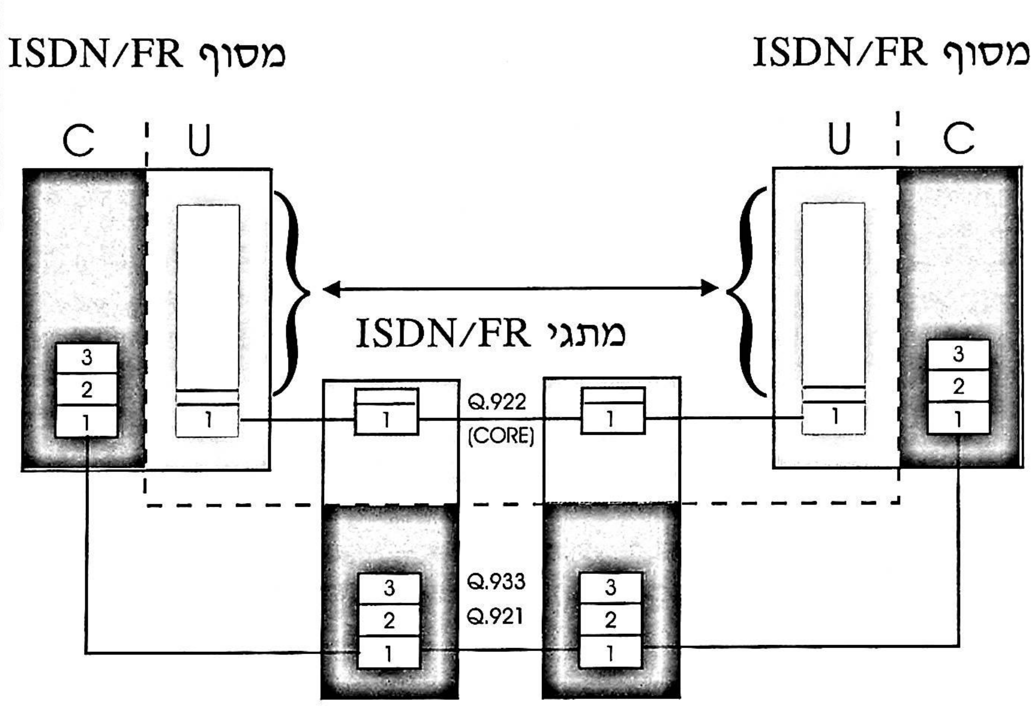


ציור 7.19 - זרימת הנתונים והאיתותים ברשת **ISDN**

ציור 7.19 מתאר בצורה לוגית את זרימת הנתונים והאיתותים ברשת **ISDN**. כל מתג (רכזת) **ISDN** מורכב משני חלקים: האחד מטפל באיתותים בלבד, והשני ממתג את הנתונים בצורה שקופה. למעשה הרשת כולה מחולקת לשני חלקים: תת-רשת מיתוג הנתונים ותת-רשת האיתותים.

.10 Frame Relay על ISDN

בפרק ו' ראינו כי מיתוג מסגרות (**FR**) ממומש כיום בעיקר בשיטת הנתיבים הקבועים (**PVC**). למעשה קיימת אפשרות תקנית להעביר **FR** גם על נתיבים ממותגים (**SVC**), תוך שימוש בתשתית **ISDN**, כמתואר בציור 7.20.



ציור 7.20 - מיתוג FR ברשת ISDN

חיוג **FR** על רשת **ISDN** מבוצע כמו כל חיוג **ISDN** רגיל. הקמת הקשר מתבצעת ע"י ה- **C-Plane**, המשתמש בפרוטוקול **Q.921** (או **Q.922**) ברמה השניה, ופרוטוקול **Q.933** ברמה השלישית. פרוטוקול **Q.933** הוא למעשה פרוטוקול **Q.931** משופר, שהותאם לעבודה עם **FR**.

לאחר שהוקם הקשר עוברים הנתונים ע"י **U-Plane** כמו ב- **ISDN**, אלא שהמתגים חייבים לתמוך בפרוטוקול **FR** הנקרא **Q.922 Core** (או **LAP-F Core**), שאותו כבר הכרנו בפרק הקודם. ברור שמתגי **ISDN** רגילים (המעבירים את הנתונים בצורה "שקופה") אינם מתאימים למטרה הזאת, ויש צורך במתגים אחרים אשר תומכים בשתי הפונקציות:

- מיתוג נתונים בפרוטוקול **Q.922 Core** של **FR**.
- מיתוג איתותים בפרוטוקולי **Q.933/Q.921** של **ISDN/FR**.

כאמור, שירות כזה עדיין אינו נפוץ כיום, ורשתות **FR** עובדות בעיקר בנתיבים קבועים (**PVC**).

ו. סיכום פרק ז'

בפרק זה ראינו את האבולוציה ברשת הטלפון, שהחלה בהחלפת התמסורת בין הרכזות מאנלוגית לסיפרתית, המשיכה בהחלפת המרכזות האנלוגיות במרכזות סיפרתיות, ולאחר מכן אמורה להגיע לרשת סיפרתית מקצה לקצה, רשת ה-ISDN.

רשת ה-ISDN מתוכננת לספק רוחבי-סרט בחיוג של 64 ו- 128 קסל״ש (או כפולות שלהם) ובכך היא מאפשרת יישומים שאינם ניתנים למימוש על רשת הטלפון הקיימת, כגון:

- שיחות ועידה באיכות גבוהה
- גיבוי קווי-נל״ן
- אספקת רוחב-סרט עודף (Overflow) בשעת הצורך
- התקשרות למאגרי מידע (כגון: אינטרנט)

ברשת ה-ISDN מוגדרים מספר ממשקים קטן והאיתותים מתבצעים על ערוצים נפרדים מערוצי הנתונים. זה מאפשר ל-ISDN זמן חיבור קצר ותכונות (Features) ייחודיות, כגון: תצוגת המנוי הקורא.

מבנה הפרוטוקולים של ISDN שונה ממה שהכרנו עד כה והוא נחלק לפרוטוקולי איתות (C-Plane) ופרוטוקולי משתמש (U-plane). תהליך האיתות מתחיל בגישה לערוץ D (תוך תחרות עם יתר המסופים), שידור מסגרות בפרוטוקול LAP-D (Q.921) ובתוכן מנות היוצרות את הקשר בפרוטוקול Q.931. לאחר שהסתיים תהליך האיתות בערוץ D, מתחיל שלב העברת הנתונים בערוץ B שהוקצה לצורך כך.

הנתונים הזורמים בערוץ B יכולים להיות בכל מבנה שהוא, והרשת מטפלת בהם באופן ״שקוף״. לכן לערוץ B אין מבנה הייררכי כמו לערוץ D, והנתונים עוברים בצורתם המקורית על גבי ממשק S ומשם לרשת.

בסיום הפרק ראינו איך רשת ISDN יכולה לתפקד גם כרשת FR ממותגת. לשם כך נחוץ מתג ISDN התומך בפרוטוקול FR (Q.922 Core) במסלול הנתונים, וכן בפרוטוקולי האיתות Q.933/Q.921 במסלול הבקרה. הוזכר שכיום יישום כזה כמעט ואינו קיים, ורשתות FR עובדות בנתיבים קבועים (PVC), ואז אין צורך בהקמה וניתוק של קשרים.

פרק ח' – תקינה

1. הצורך בתקינה

מתכנני ומנהלי רשתות תקשורת "מוצפים" כיום בשפע של מוצרים מתוצרת חברות שונות. מוצרים אלה חייבים לפעול זה מול זה כדי להבטיח תאימות ותקשורת טובה מקצה לקצה. התקנים **(Standards)** מבטיחים זאת, ומאפשרים למשתמשים לבחור את המוצרים המתאימים ביותר לצרכים שלהם. מאידך, התקנים חשובים גם ליצרנים שיוכלו לפתח ציוד תקני, שיוכל לעבוד מול ציודים אחרים ולכן יועדף ע"י המשתמשים.

השימוש בתקנים מקנה למשתמשים וליצרנים את היתרונות הבאים:

- הגנה על השקעות בפיתוח חומרה ותוכנה.
- אבטחת אורך חיים רב לציוד חדש שנרכש.
- השגת פתרונות אופטימליים (מבחינה טכנית וכלכלית) מתוך מגוון הציודים המוצעים בשוק.
- בניית ממשקים תקניים בין מערכות שונות ועתידיות.
- יצירת תחרות הוגנת בין היצרנים.
- שמוש במפרטים תקניים לצורך אפיון רכש.

2. סוגי תקנים

בשנים האחרונות הושקע מאמץ רב בכתיבת תקנים ע"י ארגונים שונים, ומאמץ זה אף מתגבר לאחרונה כתוצאה מההתפתחות המואצת בטכנולוגיות התקשורת. התקינה מקיפה כיום את כל תחומי התקשורת והמחשוב: סוגי הכבלים והמחברים, מודמים, פרוטוקולים לתקשורת **(FR, X.25)** ארכיטקטורות תקשורת **(ISDN, B-ISDN)**, שיטות איתות **(SS7)**, פרוטוקולים לניהול ובקרה ועוד.

למעשה, המושג "תקן" בהקשר של תקשורת עשוי להטעות: מדובר בהמלצות **(Recommendations)** של גופים בינלאומיים, שאינן מחייבות אף אחד. אולם במרבית המקרים מעדיפים המשתמשים והיצרנים לאמץ המלצות אלה מן הסיבות שתוארו בסעיף הקודם.

ניתן לחלק את התקנים לשתי קטגוריות:

א. תקנים רשמיים, המפורסמים ע"י גופי תקינה בינלאומיים (ITU-T ,ISO) או אזוריים (IEEE, ANSI, EIA ועוד). תהליך התקינה בגופים אלה הוא ארוך ויכול להימשך חודשים ושנים.

ב. תקנים תעשייתיים (לא רשמיים) המשמשים כתקנים למעשה (דה-פקטו). תקנים אלה נוצרים ע"י פורומים תעשייתיים בלתי-תלויים, המורכבים מנציגי היצרנים, המשתמשים ומומחים מהתעשייה, במטרה לזרז את תהליך התקינה ולהבטיח תאימות בין המוצרים החדשים. הם מפרסמים מפרטים, או "הסכמי יישום" (Implementation Agreements), המשמשים לאחר-מכן בסיס לתקנים פורמליים. הפורומים התעשייתיים הבולטים הם:

- ATM Forum
- Frame Relay Forum
- IETF (Internet Engineering Task Force)

3. תקנים רשמיים

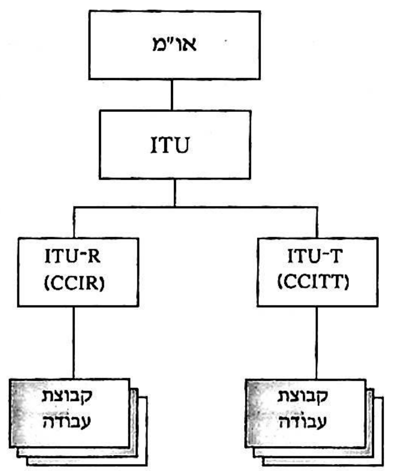
גופי התקינה הרשמיים הבינלאומיים לתקשורת הם ITU-T ו-ISO.

3.1 ITU-T

ארגון ITU (International Telecommunications Union) נוסד בשנת 1948 במסגרת האו"מ (UN) במטרה ליצור תקנים טכניים, תפעוליים ותעריפיים לנושאי הטלפון והטלגרף. במסגרת ה-ITU פועלים שני גופי תקינה (ראה ציור 8.1):

א. ITU-T (היודע יותר בשמו הקודם CCITT) המופקד על תקינת התקשורת.

ב. ITU-R (או בשמו הקודם CCIR) שפעילותו מתמקדת במערכות שידור וקליטה (ציוד רדיו וטלביזיה, הקצאת תדרים, שידורי לוויינים וכו').



ציור 8.1 - מבנה ה-ITU

עד שנת 1988 פעל ה-ITU-T במחזורי תקינה שנמשכו ארבע שנים ובסוף כל תקופה התפרסם קובץ התקנים המעודכן, המוכר יותר בצבעו: הספר האדום (1984), הספר הכחול (1988) וכו׳. מאז 1988 פועל ה-ITU-T בתהליכים מזורזים יותר, ומפרסם את התקנים עם השלמתם בצורת **White Books**.

במסגרת ה-ITU-T פועלות 15 קבוצות עבודה, שכל אחת מהן אחראית לנושא מסויים, וההמלצות שלהן מיושמות ע״י חברות ההפעלה השונות (כדוגמת ״בזק״). ה-ITU-T עוסק בעיקר בתקינה של ציוד המופעל ע״י חברות טלפון (PTT) כגון: מודמים, מרכזיות, רשתות מיתוג מנות, תמסורת, פקסימיליה, B-ISDN ,ISDN ועוד.

תקני ITU-T עוסקים הן בשרותי תקשורת מקצה-לקצה (כגון: סדרת E - תוכנית מספור בינל״א, סדרת G - תמסורת סיפרתית, סדרת I - רשתות ISDN ו-B-ISDN, סדרת Q - שיטות איתות בין מרכזיות) והן בהגדרת מימשקי תקשורת שונים (כגון: סדרת X - מימשקי רשתות נתונים, סדרת V - הגדרת מודמים ועוד).

3.2 ISO

ISO (International Standards Organization) הינו ארגון התקינה הבינל״א, הקשור אף הוא לאו״מ. פעילותו החלה בשנת 1946 ומשתתפים בו נציגים של מכוני תקינה מכל העולם, כגון: ANSI (מכון התקנים האמריקאי), BSI (מכון התקנים הבריטי) וכן מכון התקנים הישראלי. פעילות ISO מקיפה שטחים רבים (חקלאות, פטרוכימיה, מינרלים ועוד), כולל תחום התקשורת שבו ISO פועלת במשותף עם ארגון IEC (החל משנת 1987). ל-ISO יש הסכמי שת״פ עם הרבה ארגונים אחרים, כולל ה-ITU-T (CCITT), ולעיתים הוא מאמץ את התקנים שלהם והופך אותם לבינלאומיים.

אחד האירועים החשובים ביותר בהתפתחות רשתות המחשבים היה בשנת 1977, כאשר ISO החליט להקים קבוצת עבודה, שתבחן חיבור ״מערכות פתוחות״ (Open Systems). הכוונה היתה להגדיר את הפונקציות והפרוטוקולים הדרושים לכל מערכת מחשב לצורך התחברות למערכת מחשב אחרת, ללא תלות ביצרן. המודל שפותח ע״י אותה קבוצה נקרא מודל OSI (Open System Interconnection), והוא פורסם לראשונה בשנת 1983 כתקן ISO 7498, ולאחר מכן כתקן X.200 של ITU-T. במודל ה-OSI שולבו גם תקנים שפותחו ע״י גופים אחרים, לדוגמה: תקני X.25 ו-ISDN (של CCITT), תקני רשתות מקומיות (IEEE 802), תקני דואר אלקטרוני (X.400 של CCITT) ועוד.

מספר חברות הכריזו על תמיכה בפרוטוקולי OSI (לדוגמה: IBM, DEC ועוד), אולם התפוצה שלהם עדיין אינה גדולה. לעומת זאת פרוטוקולי TCP/IP (שנכיר אותם בהמשך) ממלאים בינתיים את החסר, בהיותם בשלים, בדוקים ובעלי תפוצה רחבה (למשל באינטרנט).

3.3 ארגוני תקינה נוספים

פעילות התקינה של שני הארגונים הבינל״א (ITU-T ו-ISO) נעזרת בעבודת תקינה של גופים נוספים, שיוזכרו להלן בקיצור:

א. IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
ארגון מהנדסים אמריקאי, העוסק בפיתוח תקני תקשורת. בשנת 1980, עם ראשית התפתחות הרשתות המקומיות, לקח ה-IEEE על עצמו את כתיבת תקני ה-LAN הראשונים (פרוייקט 802) והוא ממשיך בכך עד היום. תקני IEEE מועברים ל-ANSI לצורך אישורם בארה״ב, ו-ANSI מעבירים ל-ISO לאישור בינל״א. לדוגמה: תקן אתרנט IEEE 802.3 הנקרא גם ISO 8802.3.

ב. ANSI (American National Standards Institute)
ארגון המרכז את עבודת התקינה בארה״ב ומייצג את ארה״ב ב-ISO וב-CCITT. ה-ANSI אחראי לפרסומם של מספר תקנים חשובים, כגון: FDDI (X3T9.5), EDI (X12), SQL (X 3.135) וכן SONET.

ג. EIA (Electronic Industries Association)
ארגון יצרני האלקטרוניקה בארה״ב, נוסד ב-1924. התקנים החשובים שלו מתייחסים לממשק הטורי שבין מודמים ומחשבים, כגון: התקן הפופולרי EIA-232 (או בשמו הקודם RS-232), שאומץ גם ע״י ה-CCITT ונקרא V.24. תקני ממשקים נוספים שפורסמו ע״י EIA הם: EIA-449, EIA-422, EIA-423 ועוד.

לאחרונה חבר ה-EIA עם ארגון אמריקאי אחר TIA (Telecommunications Industry Association) והם פרסמו סדרת תקנים לכבילת מבנים הנקראים EIA/TIA 568.

ד. ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
הוקם בשנת 1988 ע״י CEPT (ארגון ה-PTT האירופאיים), במטרה להתאים את תקני ITU-T לדרישות הספציפיות באירופה. חברים בו חברות הפעלה ציבוריות ופרטיות, יצרנים, משתמשים וגופי מחקר.

4. תקנים תעשייתיים

תקנים אלה נוצרים ע״י התארגנות וולונטארית של פורומים תעשייתיים, המורכבים מנציגי יצרנים, משתמשים ומומחים, במטרה לקדם טכנולוגיה מסויימת ולהבטיח תאימות בין המוצרים המפותחים. ״הסכמי היישום״ של הפורומים משמשים כתקנים זמניים, ולעתים הופכים במועד מאוחר יותר לתקנים רשמיים.

נסקור להלן מספר פורומים תעשייתיים:

4.1 IETF (Internet Engineering Task Force)

גוף שהוקם בשנת 1989 במטרה לכתוב מפרטים ליישומים שונים שמופעלים על רשת האינטרנט, המשתמשים

בפרוטוקול IP. בין היתר פרסם ה-IETF את הפרוטוקולים הידועים Telnet ו-FTP. המפרטים מפורסמים בצורת RFC (Request For Comments) ועוברים מספר שלבים של הערות ותיקונים עד לאישורם הסופי.

4.2 ATM Forum

פורום תעשייתי לקידום טכנולוגיית ATM, שהוקם באוקטובר 1991 ע"י ארבע חברות: NORTEL, SPRINT, SUN ו-DEC. הפורום הביא לקידום משמעותי של פיתוח והטמעת מוצרי ATM, במיוחד בהקשר של ATM LAN. כיום משתתפים בפעילות הפורום כמה מאות חברות ואירגונים.

4.3 Frame Relay Forum

פורום תעשייתי לקידום טכנולוגיית FR, שהוקם ב-1990 ע"י ארבע חברות: NORTEL, DEC, CISCO ו-STRATACOM. פרסם שורה של תקנים (ראה פרק ו' סעיף 5).

5. סיכום פרק ח'

בפרק זה הכרנו את גופי תקינת התקשורת העיקריים, וראינו שהם נחלקים לשני סוגים:

א. גופי תקינה בינלאומיים רשמיים - ISO ו-ITU-T (CCITT), הנעזרים בגופי תקינה אזוריים (IEEE, EIA, ETSI ואחרים).

ב. גופי תקינה תעשייתיים - IETF, ATM Forum, FR Forum ועוד.

כל התקנים הנ"ל הם למעשה בגדר המלצות, אך היצרנים והמשתמשים מתייחסים אליהם כתקנים לכל דבר כדי להבטיח תאימות ופעולה הדדית של מוצרים שונים מיצרנים שונים.

פרק ט' - ארכיטקטורות תקשורת

1. הקדמה

כאשר רוצים ליצור קשר טלפוני, כל אשר יש לעשות הוא לחייג את המספר הדרוש ורשת הטלפונים הבינלאומית תיצור את הקשר בצורה "שקופה". ההתקשרות, הנראית לכאורה פשוטה, מתאפשרת ע"י שימוש **בארכיטקטורה** של תקשורת הנשענת על מערכת מוסכמת של תקנים ופרוטוקולים. הספרות שהמשתמש מחייג בטלפון שלו, נהפכות לאיתות בפרוטוקול מסויים המשודר לרכזת, ושם מבוצע עיבוד ונשלח איתות לרכזת אחרת (בפרוטוקול אחר) עד ליצירת הקשר. עולם הטלפוניה הבין מלכתחילה את הצורך בשימוש במערכות תקניות כתנאי להקמת רשת כלל-עולמית, ולכן חברות הטלפון באופן מסורתי רוכשות ציוד תקני (תואם ITU-T).

בתקשורת בין מחשבים שואפים גם כן להגיע למצב כזה, אך לא כך היו פני הדברים בתחילה. שלא כמו בטלפוניה, תעשיית המחשבים של שנות ה-60 וה-70 לא היתה כפופה לתקנים כלשהם, והיצרנים הגדולים פיתחו פרוטוקולים וארכיטקטורות פרטיות משלהם (כגון SNA של יבמ או DNA של דיגיטל). ברוב המקרים המוצרים של יצרנים שונים לא עבדו זה מול זה, ולכן המשתמשים העלו את הצורך בתאימות ובעבודה הדדית (Interoperability) של המערכות השונות.

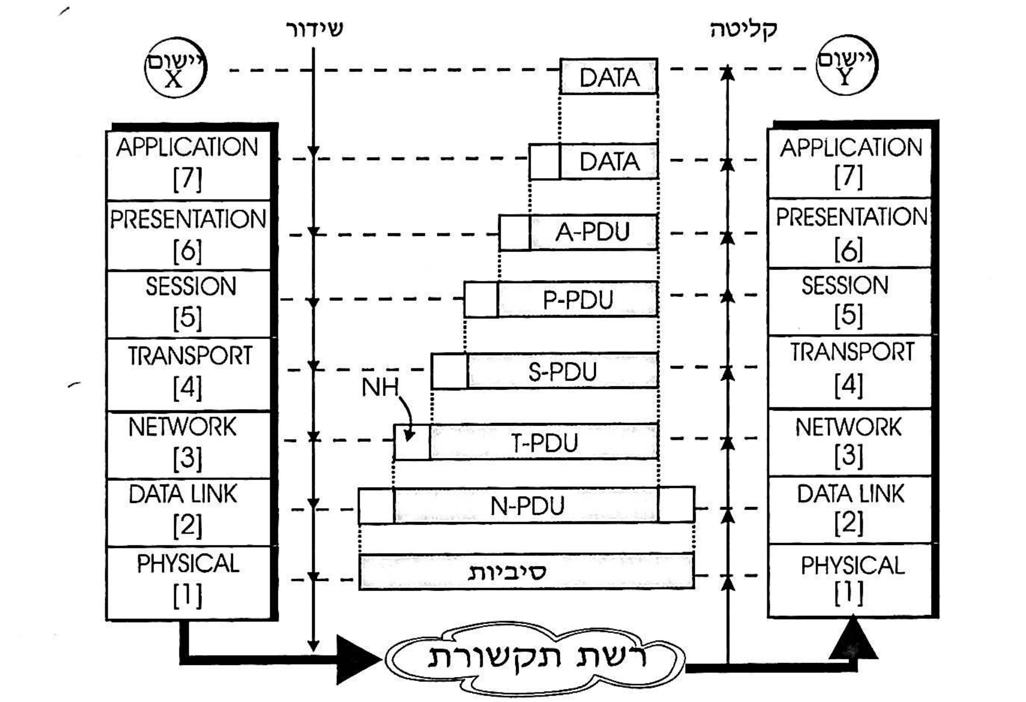
על רקע זה החליט ארגון ISO בשנת 1977 להקים קבוצת עבודה לחיבור "מערכות פתוחות" (Open Systems), שתגדיר את הפונקציות והפרוטוקולים הדרושים לכל מערכת מחשב לצורך התחברות למערכות מחשב אחרות, ללא תלות ביצרן. המודל שפותח נקרא OSI (Open System Interconnection) והוא פורסם בשנת 1983 ע"י ISO (ונקרא ISO 7498) ולאחר מכן גם ע"י ה-CCITT (X.200).

כבר ראינו קודם (פרק ה', פיסקה 2) כי בשנת 1974 פורסם ע"י ה-CCITT התקן הראשון למיתוג מנות, שנקרא X.25. החידוש בתקן X.25 היה החלוקה לשלוש רמות (או שלוש שכבות), ומודל ה-OSI הרחיב את רעיון העבודה ב"שכבות" לכל מכלול הפונקציות המתבצעות בכל מחשב ברשת. רעיון החלוקה לשכבות יושם למעשה לראשונה ע"י IBM בשנת 1974 (ארכיטקטורת SNA) ולאחר מכן ע"י DEC בשנת 1977, ושניהם השפיעו על מודל ה-OSI.

2. מודל 7 השכבות (מודל OSI)

מודל ה-OSI מורכב מ"מחסנית" בעלת שבע שכבות (ראה ציור 9.1). בכל שכבה מוגדרות פונקציות, המאפשרות לשכבה לקבל מידע מהשכבה שמעל, לבצע עיבוד מסויים, להוסיף כותרת ולהעביר את המידע המורחב לשכבה שמתחת. כפי שנראה מהציור, כל שכבה מוסיפה כותרת (או כותרת וסיומת במקרה של השכבה השניה) עד שלבסוף השכבה הראשונה (השכבה הפיסית) משדרת את המידע כאוסף סיביות לרשת. במחשב הנגדי מתבצעת פעולה הפוכה: בכל שכבה מבוצע עיבוד, המבוסס בין היתר על

הכותרת שנוספה בשכבה המקבילה במחשב הראשון, ולאחר מכן הכותרת מושמטת והמידע עובר לשכבה שמעל. הכותרות "מתקלפות" במעבר למעלה דרך השכבות השונות, עד הגעת המידע "נטו" לתוכנית היישום השניה.



ציור 9.1 - מודל 7 השכבות

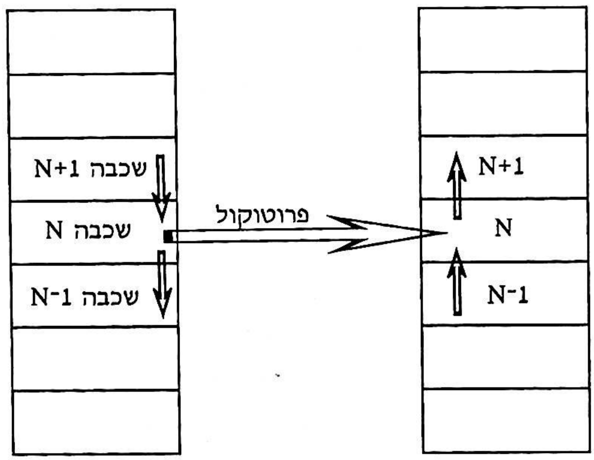
כל שכבה מקבלת מהשכבה שמעליה "יחידת מֵידע פרוטוקולי", הנקראת **PDU (Protocol Data Unit)**. לדוגמא, השכבה השלישית מקבלת מהשכבה הרביעית **T-PDU (Transport PDU)**, ולאחר הוספת הכותרת **(NH)** שולחת אותה בצורת **N-PDU (Network PDU)** לשכבה השניה. במחשב השני, השכבה השלישית מקבלת מהשכבה השניה את **N-PDU**, היא מבצעת עיבוד על **NH**, ולאחר מכן משמיטה את **NH** ושולחת את **T-PDH** לשכבה הרביעית שמעליה. בסופו של התהליך מגיע המידע המקורי שנשלח מיישום **X** אל יישום **Y**.

תהליך העיבוד והוספת הכותרת בשכבה מסויימת, והסרת אותה כותרת במחשב הנגדי - נקרא פרוטוקול. לדוגמה, בפרוטוקול **HDLC** (בשכבה השנייה) מוסיפים בסיומת המסגרת את השדה **FCS**, ובצד השני מסירים אותו לאחר בדיקת השגיאות (אין מעבירים אותו לשכבה השלישית). פרוטוקול, אם כן, הוא פונקציה שחייבת להימצא בכל אחד מהמחשבים בשכבה המתאימה. ברור כי שני מחשבים יכולים לתקשר אם "מחסנית" הפרוטוקולים בשניהם זהה (הערה: כל מחשב יכול להכיל פרוטוקולים נוספים שאינם משתתפים בתהליך).

ראינו שלכל שכבה מוגדרים תפקידים שעליה לבצע בעזרת פרוטוקול אחד (או יותר). כללי התקשורת בין השכבות הם כדלקמן (ראה ציור 9.2):

■ באותו מחשב - מותר לכל שכבה להתקשר אך ורק לשכבה שמעליה ולשכבה שמתחתיה. בעת העברת המידע לשכבה התחתונה מותר להוסיף כותרת (או גם סיומת בשכבה השניה), ולסלק אותה בצד השני במעבר לשכבה העליונה.

■ בין מחשבים שונים - כל שכבה מתקשרת רק לשכבה המקבילה לה (ע"י פרוטוקול מתאים).



ציור 9.2 - תקשורת בין שכבות

3. תפקידי השכבות השונות במודל OSI

להלן פירוט השכבות השונות במודל OSI, הפונקציות שהן ממלאות ודוגמאות של פרוטוקולים:

א. **השכבה הראשונה** - "השכבה הפיזית" (Physical Layer), מגדירה את המחברים, הפינים, רמות המתח וצורת ההפעלה של הממשק הפיזי דוגמאות: EIA-RS-232, EIA-RS-449, X.21, RJ-4 5 (ISO-8877), ממשקים פיזיים של LAN ועוד.

ב. **השכבה השניה** - "שכבת הקו" (Data Link Layer), דואגת להעברה תקינה של מסגרות בין שני אלמנטים המחוברים בקו תקשורת. פרוטוקולים ברמה הזאת מגלים ומתקנים שגיאות (כגון: HDLC - ISO 7809), ומפקחים על הגישה לרשת, כגון: LAP-B (ISO-7776), אתרנט (ISO-8802.3), טבעת-אסימון (ISO-8802.5), FDDI (ISO-9314.2) ועוד.

ג. **השכבה השלישית** - "שכבת הרשת" (Network layer), אחראית לניתוב הנתונים בתוך הרשת ולאספקת הכתובות ברמת הרשת, לדוגמה: כתובות IP (בפרוטוקול TCP/IP), מספרי ערוץ לוגיים (LCN) בפרוטוקול X.25 ועוד. פרוטוקולים נפוצים בשכבה הזאת הם: X.25 PLP (ISO-8208), פרוטוקול IP (Internet Protocol), ופרוטוקול IPX של רשת "נובל".

ד. **השכבה הרביעית** - "שכבת התובלה" (Transport Layer), אחראית ליצירת תקשורת אמינה מקצה-לקצה ברשת, בקרת שגיאות ובקרת תנועה (Flow Control). פרוטוקולים ידועים בשכבה הזאת הם: TCP, UDP (שניהם ממשפחת פרוטוקולי האינטרנט), ו-SPX של רשת "נובל".

ה. **השכבה החמישית** - "שכבת השיחה" (Session Layer), דואגת לאיתחול וסיום של שיחה, קובעת את אופי השיחה (Half Duplex או Full Duplex), ומאפשרת המשך שיחה במקרה של תקלה. פרוטוקולים ידועים, הם: NETBIOS ו-Named Pipes (שניהם לרשתות מקומיות של IBM).

ו. **השכבה השישית** - "שכבת התצוגה" (Presentation Layer), מבצעת את ההמרות הדרושות של פורמטים וקודים, דחיסת טקסט והצפנת מידע.

ז. **השכבה השביעית** - "שכבת היישום" (Application Layer), מספקת שרותי יישום שונים, כגון: העברת קבצים, דואר אלקטרוני, ניהול ועוד.

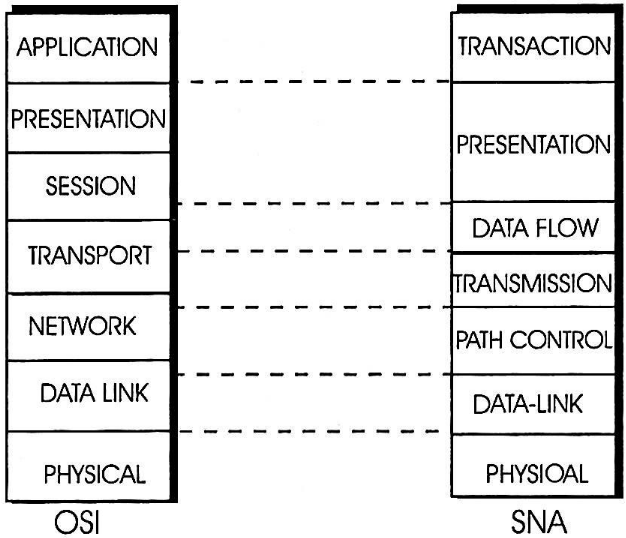
מקובל להתייחס לשלושת השכבות הנמוכות בהתייחסות כוללת של "שכבות רשת", מאחר שראינו כי הרשתות המקובלות (X.25, FR, ISDN ובהמשך נראה שגם LAN) פועלות בתחום זה. השכבה הרביעית מספקת שרותים מקצה-לקצה (Connection-Oriented), ואת יתר שלוש השכבות הגבוהות מכנים "שכבות היישום". יש לציין שלא תמיד חייבות להתקיים במחשב מסויים כל 7 הרמות ואפשר במקרים מסויימים לעבוד גם עם "מחסנית פרוטוקולים" חלקית (בתנאי כמובן שגם בצד השני קיימת אותה "מחסנית").

4. ארכיטקטורות פרטיות

מודל OSI (שתואר לעיל) החל להתפתח רק בשנות השמונים. קדמו לו ארכיטקטורות פרטיות שפותחו ע"י חברות המחשבים השונות, כדי לאפשר חיבור המחשבים והמסופים שלהן זה לזה. ברור שכל ארכיטקטורה פרטית כזאת, תמכה בעיקר במוצרים של אותה חברה. המפרטים של הפרוטוקולים לא פורסמו ברבים, ולכן ארכיטקטורות אלה לא יכלו לשמש בסיס למערכת "פתוחה", שבה כל הפרוטוקולים גלויים וידועים וכל אחד יכול להתקשר לכל אחד.

4.1 ארכיטקטורת SNA

בשנת 1974 הכריזה חב' IBM על הגירסה הראשונה של SNA (Systems Network Architecture) שהיא המסגרת לתקשורת בעיקר בין התקני IBM לבין עצמם, וכן בינם לבין התקנים אחרים. ארכיטקטורת SNA השתמשה במבנה שכבתי בן 7 שכבות, שקדם למעשה למודל OSI ואף מזכיר אותו במקצת, אם כי הגדרת השכבות אינה זהה (ראה ציור 9.3).

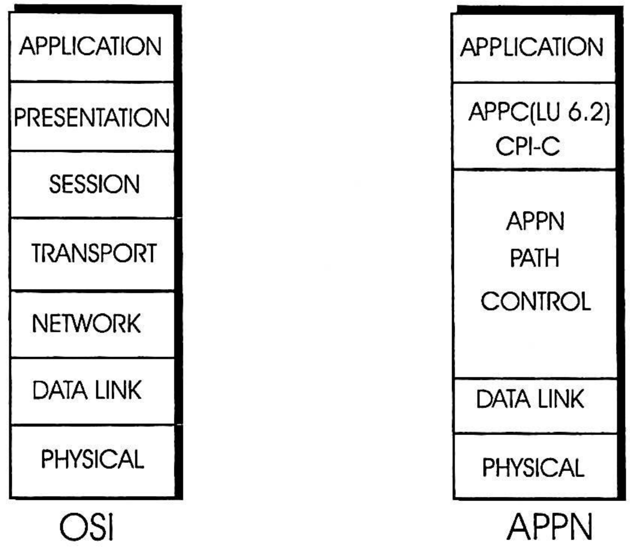


ציור 9.3 - ארכיטקטורת SNA

ארכיטקטורת SNA פותחה כמה שנים לפני הופעת ה-PC ולכן אין זה מפתיע שהיא במקורה ארכיטקטורה היראכית שבראשה ניצב מחשב-מארח (Host) המנהל את כל תהליכי התקשורת. מסופי ה-SNA (3270) היו מסופים ללא כח-מחשוב ורשת SNA סיפקה נתיבים סטטיים (קבועים) בין כל מסוף לבין ה-HOST.

בציור 3.1 ראינו דוגמה טיפוסית של רשת SNA, שבה ה-FEP מתקשר לבקרי-המסופים בפרוטוקול SDLC (בשיטת ה-Polling), ומעביר את המידע למחשב המארח. הפרוטוקול בשכבה השנייה (בין ה-FEP לבין בקרי-המסופים) היה אם-כן SDLC, ואילו בין מסופי 3270 לבין בקר-המסופים היה חיבור של כבל קואקסיאלי בפרוטוקול סינכרוני פרטי.

ארכיטקטורת SNA היתה ארכיטקטורה ריכוזית, שלא איפשרה תקשורת ישירה בין האלמנטים השונים (דבר שגם לא נתבקש באותה תקופה). מערכות SNA נקלטו יפה בשוק והפכו לארכיטקטורה הנפוצה ביותר באותם ימים, בעיקר בקרב ארגונים גדולים, בנקים וכו׳. אולם בשנות ה-80, בעקבות הופעת ה-PC והתפתחות הרשתות המקומיות (LAN), התעוררה הדרישה לקישור ישיר בין מחשבים ברשת, ללא הצורך לעבור דרך המחשב המארח. בתגובה לכך, IBM שיפרה את מודל ה-SNA, והציגה בשנת 1985 את ארכיטקטורת APPN (ראה ציור 9.4).



ציור 9.4 - ארכיטקטורת **APPN**

ארכיטקטורת **APPN**, או בשמה המלא **Advanced Peer-to-Peer Networking**, מאפשרת תקשורת ישירה בין מחשבים ברשת (שרות הנקרא בשפה טכנית **Peer-to-Peer**). ארכיטקטורת ה-**APPN** מאפשרת עבודה במודל **Client/Server** (שהחל להתפתח באותה תקופה עם הופעת פרוטוקולי **TCP/IP**) והיא חלק מהשינויים ש-**IBM** הכניסה ל-**SNA** הנקראים "**SNA** חדש".

שכבת ה-**APPN** מבצעת שרותי ניתוב (**Routing**) ברשת, ומאפשרת למחשבים השונים ברשת להתקשר ישירות זה לזה. ה-**APPN** הוא למעשה "שקוף" לפרוטוקולים בשכבה השניה, ומסוגל לפעול מעל **SDLC**, אתרנט, טבעת-אסימון (**TR**), **FDDI**, **X.25**, **FR**, **ISDN** וגם **ATM** (חלק מפרוטוקולים אלה נכיר בהמשך).

מעל שכבת ה-**APPN** נמצא פרוטוקול **APPC** (**Advanced Program-to-Program Communications**) הידוע גם בשמו הטכני **LU6.2**. הוא מקביל לפרוטוקול ה-**Session** של ה-**OSI**, ותפקידו לאפשר לתוכניות המורצות על מחשבים שונים (בסביבת **SNA**) להתקשר ביניהן ישירות. בטרמינולוגיה של **SNA** המושג "**Session**" פרושו קשר בין שתי יחידות לוגיות (כגון **LU6.2**), שבאמצעותו היישומים מעבירים מידע זה לזה. ב-**SNA** המקורי **Sessions** יכלו להתקיים רק בין ה-**LU** במחשב המארח, לבין **LU** במסוף (כגון: **LU1** - מדפסת, **LU2** - מסוף 3270 וכו'). אולם, שני מחשבים שבהם מותקן פרוטוקול **LU6.2**, יכולים להקים ביניהם **Session** ישירות (ללא התערבות המחשב המארח). ניתוב המידע בתוך הרשת עבור ה-**Session** מבוצע ע"י פרוטוקול **APPN**. אפשר לכן לראות את ה-**Session** כצינור בין שני **LU**, שדרכו מועבר מידע בין היישומים, והצינור נוצר ע"י פרוטוקול **APPN**.

כדי לאפשר ליישומים שונים לרוץ בצורה "שקופה" על מחשבים שונים, קיים מעל שכבת ה-**APPC** ממשק יישום הנקרא **CPI-C** (**Common Programming Interface for Communication**). אנו נכיר בהמשך ממשקי יישום נוספים, הנקראים באופן כללי **API** (**Application Program Interface**). תוכנית הנכתבת על ממשק

API מסויים, תוכל לרוץ על כל מחשב שבו מותקנת תוכנת ה-API הזאת. לכן כל יישום שנכתב על ממשק CPI-C יוכל לרוץ ללא כל שינוי על כל מחשב התומך ב-CPI-C.

IBM המשיכה בהרחבת ה-SNA ובמודל הארכיטקטוני הכולל שלה (הנקרא IBM Networking Blueprint) נכללת גם תמיכה בפרוטוקולי הניתוב TCP/IP, OSI ו-NETBIOS, בנוסף לפרוטוקול הניתוב APPN. ברמות הנמוכות (שכבות 1 ו-2) תומך המודל בפרוטוקולים אתרנט, טבעת-אסימון (TR), FDDI, FR ואחרים.

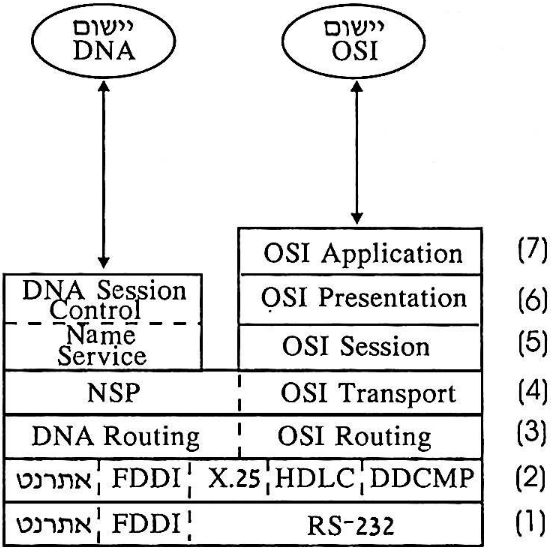
4.2 ארכיטקטורת DNA

חבי דיגיטל (DEC) הכריזה בשנת 1977 על ארכיטקטורת DNA (Digital Network Architecture), ומשפחת המוצרים המרכיבים את הארכיטקטורה (חומרה ותוכנה) נקראת DECnet. הארכיטקטורה המקורית תוכננה למערכות המחוברות זו לזו במרחקים קצרים (בממשקים מקבילים), אולם הכרזת האתרנט בשנת 1980 הפכה אותו לשיטת החיבור המועדפת בין מחשבי DEC.

ה-DNA התפתח במשך השנים בכמה שלבים. בשנת 1982 הוכרז שלב 4 (Phase IV) ובו היו כמה חידושים לעומת שלב 3 (לדוגמה: השימוש בפרוטוקול הניתוב RIP וכן בגישור ל-SNA) ובנוסף הוא כלל הכרזת כוונות על שילוב פרוטוקולי OSI בארכיטקטורת DNA. שלב 5 של DNA (Phase V) פורסם ב-1987 וכלל תאימות מלאה למודל OSI וכן תאימות אחורה לשלב 4 של DNA. בשנת 1991 הכריזה חבי DEC על אסטרטגיה שנקראה Advantage Networks, וכללה תמיכה גם בפרוטוקולי TCP/IP וכן את היכולת לתמוך בכמה פרוטוקולים בו-זמנית (פרוטוקולי DEC המסורתיים ובנוסף TCP/IP ו-OSI). לדוגמה: משתמשים יכולים להעביר מידע בין שני יישומי TCP/IP תוך שימוש בפרוטוקולי ניתוב של OSI, או בין יישומי OSI הרצים על פרוטוקולי ניתוב TCP/IP.

ציור 9.5 מתאר את ארכיטקטורת DNA בשלב 5 (Phase V). שתי השכבות התחתונות כוללות פרוטוקולי DNA "מסורתיים" (כגון: DDCMP, X.25, אתרנט וכוי). שכבות 3 ו-4 משלבות בין פרוטוקולי DNA לבין פרוטוקולי OSI ומהשכבה החמישית ומעלה קיימת הפרדה בין פרוטוקולי DNA (התואמים לפרוטוקולי DNA משלבים קודמים) לבין פרוטוקולי OSI.

בשכבה הראשונה והשנייה אנו מוצאים את הפרוטוקולים HDLC, DDCMP ו-X.25 שכבר פגשנו קודם. בנוסף ה-DNA מאפשר עבודה על רשת אתרנט (שחבי דיגיטל היתה אחת ממיסדיה) וכן על רשת FDDI. שתי רשתות אלה נכיר בהמשך.



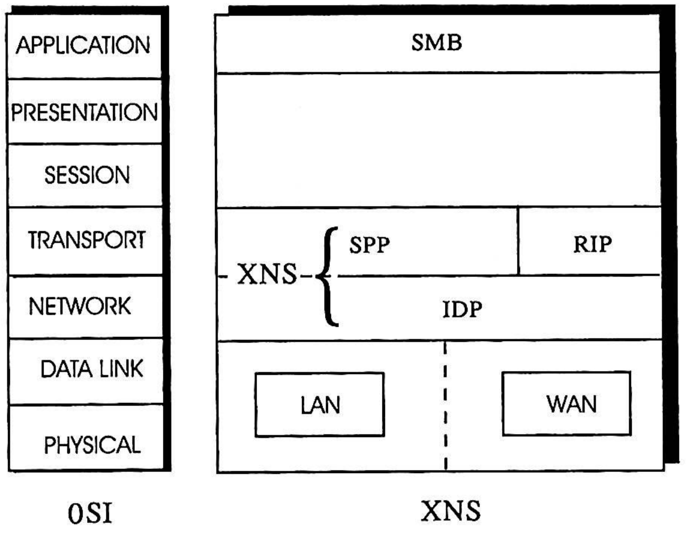
ציור 9.5 - ארכיטקטורת DNA, שלב 5

בשכבה השלישית נמצאים פרוטוקולי ניתוב של OSI ושל DNA (למשל X.25). בשכבה הרביעית נמצאים פרוטוקולי תעבורה של OSI וכן פרוטוקול התעבורה של DNA שנקרא NSP (Network Services Protocol). בזמן הקמת הקשר מוחלט ע״י השכבות הגבוהות באיזה פרוטוקול תעבורה להשתמש.

מהשכבה החמישית יש שתי ״מחסניות״ פרוטוקולים: האחת של OSI והשניה של DNA. יישומי OSI רצים על שלושת פרוטוקולי OSI, ואילו יישומי DNA רצים על שכבת DNA Session Control, הכוללת גם שרותי מיפוי שם/כתובת: שמות משתמשים המגיעים מהשכבות הגבוהות מתורגמים לכתובות, וכתובות המגיעות משכבות נמוכות מתורגמות לשמות (בתאימות לשלב 4 של DNA). שכבת ה-DNA Session Control מחליטה גם באילו פרוטוקולים נמוכים להשתמש (DNA או OSI).

4.3 ארכיטקטורת XNS

ארכיטקטורה פרטית נוספת הראויה לאיזכור היא XNS (Xerox Network Systems) שפותחה ע״י חב׳ זירוקס ופורסמה בשנת 1981. זוהי ארכיטקטורה שתוכננה לחבר מחשבי PC על רשת אתרנט (רשת שפותחה במעבדות זירוקס) ולכן היא עובדת בשיטת מחשב-למחשב (Peer-to-Peer). כמה מיצרני הרשתות המקומיות (LAN) בחרו בגירסאות של XNS לשימוש בתוכנת הרשת שלהם ופיתחו פרוטוקולים בשכבת היישום (שכבה 7) שעובדים על XNS, כגון: נובל (המשתמש בפרוטוקולים SPX/IPX במערכת Netware המקבילים לפרוטוקולים SPP/IDP של XNS), 3COM ו-UB. ציור 9.6 מתאר את ארכיטקטורת XNS.



ציור 9.6 - ארכיטקטורת XNS

הפרוטוקולים העיקריים במשפחת ה-XNS הם:

- **IDP** - פרוטוקול מסוג **Connectionless** (או **Datagram**), הכולל שלושה שדות של כתובות: כתובת מחשב היעד (**Host**), כתובת הרשת (**Network**) שאליה שייך מחשב היעד, וכתובת המבוא (**Socket**) במחשב היעד.

- **SPP** - פרוטוקול מסוג **Connection - Oriented** המבטיח החלפת מידע אמינה בין שני הצדדים, ע״י סיפרור ההודעות, בקרת זרימה ובקרת שגיאות.

- **RIP (Routing Information Protocol)** - פרוטוקול ניתוב מפורסם ש״אומץ״ גם ע״י **Novell** ו-**TCP/IP**.

לחברת ״זירוקס״ היתה אם-כן תרומה משמעותית להתפתחות הרשתות המקומיות, שהתבטאה בפיתוח רשת אתרנט הפופולרית, וכן בארכיטקטורת **XNS**.

5. ארכיטקטורות פתוחות

בסעיף הקודם ראינו מספר ארכיטקטורות פרטיות, שנוצרו ע״י חברות מסחריות בשנות ה-70 כדי לאפשר קישוריות בין המוצרים שלהן (כגון: **SNA** ו-**DNA**). ארכיטקטורות אלה חייבו את המשתמשים (בדרך-כלל) להמשיך ולרכוש מוצרים מאותה חברה, משום שהארכיטקטורה הפרטית לא איפשרה חיבור מוצרים של חברות אחרות.

מצב זה החל להשתנות בשנות ה-80, כאשר ארגון ISO פירסם את מודל OSI, שהיה "אב טיפוס" לארכיטקטורה פתוחה. כדי שארכיטקטורה תהיה "פתוחה" היא צריכה לקיים כמה תנאים:

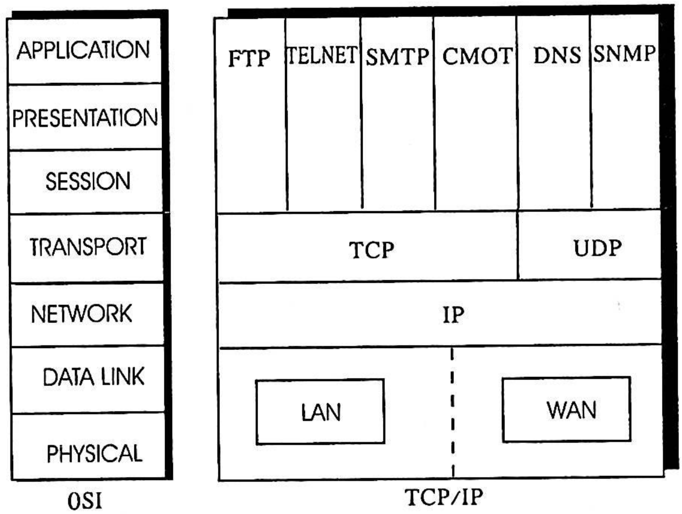
- כל הפרוטוקולים והממשקים צריכים להיות מפורסמים וגלויים, וכל אחד יכול לרכוש אותם.
- הארכיטקטורה צריכה להיתמך ע"י גוף תקינה בינל"א (או שווה לו).
- הארכיטקטורה יכולה לפעול על מחשבים מסוגים שונים וכך היא מאפשרת לכל מחשב לדבר עם כל מחשב.
- חייב להיות מנגנון שבודק את המוצרים השונים מול התקן.

מודל OSI שתארנו בראשית פרק זה תוכנן מלכתחילה להיות ארכיטקטורה פתוחה, וחברות המחשבים הגדולות (IBM, DEC, HP ועוד) הכריזו על תמיכה בו. אולם פרוטוקולי OSI לא הצליחו עד כה להקלט בשוק בצורה משמעותית ואת מקומם תופשים בהדרגה פרוטוקולי TCP/IP, שהפכו "דה-פקטו" לארכיטקטורה פתוחה. פרוטוקולי TCP/IP מיושמים ברשתות אינטרנט ויכולים כיום לפעול על רוב המחשבים הנפוצים בשוק.

6. ארכיטקטורת TCP/IP

מה שידוע כיום כרשת "אינטרנט", החל למעשה בשלהי שנות ה-60 כניסוי של משרד ההגנה האמריקאי (DOD), בניתוב מידע באופן אמין בין אתרים שונים. בשנת 1969 חוברו מחשבים ב-4 אוניברסיטאות וכך נוצרה רשת ARPANET (על שם סוכנות המחקר Advanced Research Projects Agency). הרשת גדלה בהתמדה ולמתכנניה התברר כי יש קושי לחבר מוצרים של חברות שונות. ב-1973 הוקם צוות מחקר שמטרתו היתה לפתח שיטה שבעזרתה יהיה ניתן לחבר בין כל מחשבי הרשת, תוך שימוש באמצעי תמסורת שונים ובקצבים שונים. ב-1978 העבודה הושלמה ברובה והפרוטוקולים שפותחו נקראו TCP/IP. בשנת 1983 הוחלט שפרוטוקולי TCP/IP יהיו פרוטוקולי הניתוב הרשמיים ברשת, ומאז, הצלחת רשת האינטרנט היתה גם הצלחת TCP/IP.

ציור 9.7 מתאר את ארכיטקטורת TCP/IP:



ציור 9.7 - ארכיטקטורת TCP/IP

במקורם היו TCP/IP פרוטוקולים ברמות 3 ו-4 בלבד:

- IP (Internet Protocol) - פרוטוקול ניתוב בשכבה השלישית מסוג **Connectionless**, המטפל בהעברת מנות ברשת בשיטת **Datagram**.
- TCP (Transmission Control Protocol) - פרוטוקול בשכבה הרביעית, מסוג **Connection-Oriented**, המבטיח העברה אמינה של נתונים מקצה לקצה.

שים לב ששכבת (פרוטוקול) **IP** חייבת להימצא בכל צומת ברשת כדי לבצע ניתוב. אולם שכבת **TCP** נמצאת רק במחשבי הקצה, הדואגים לבקרת-זרימה, אישורים, ספרור, בדיקת שגיאות ושידורים חוזרים.

בשלב מאוחר יותר נוספו ל-**TCP/IP** פרוטוקולים ברמות גבוהות יותר (לדוגמה: **SNMP,FTP,TELNET** ועוד). בשתי הרמות הנמוכות יכול ה-**TCP/IP** לפעול על מגוון פרוטוקולים:

- רשתות מקומיות (**LAN**) מסוגים שונים.
- רשתות מיתוג - מנות (**X.25**) או **FR**.
- חיבור טורי ישיר (נל״ן) בעזרת הפרוטוקולים בשכבה השניה: **SLIP** או **PPP**. בשיטה זאת אפשר להתקשר מהבית לרשת אינטרנט בעזרת מודם.

עקב התפוצה הגדולה של רשת אינטרנט, והחדרת הרעיון של רשת אינטרנט פנים-ארגונית (אינטרה-נט), הפכה ארכיטקטורת **TCP/IP** למרכזית בעולם המחשוב. כיום היא ״דה-פקטו״ הארכיטקטורה הפתוחה הדומיננטית, מאחר וארכיטקטורת **OSI** לא הצליחה להיקלט בשוק (וספק אם תצליח). פרוטוקולי **TCP/IP** עוברים באופן מתמיד שיפורים (כגון: **IPng** - הדור החדש של **IP**) כך שחשיבותם תישאר עוד זמן רב.

7. סיכום פרק ט'

בפרק זה הכרנו את מושג ה"ארכיטקטורה", שמשמעותו מערכת מוסכמת של פרוטוקולים הבנויים בשכבות. מידע המגיע מן המשתמש עובר בצורה "אנכית" דרך שכבות הפרוטוקולים השונות, בכל שכבה מתבצע עיבוד ונוספת כותרת, עד שהמידע (עם כל התוספות) משודר לרשת. בצד השני מתבצעת פעולה הפוכה - בכל שכבה מתבצע עיבוד והכותרת "מתקלפת", עד שהמידע מגיע למשתמש השני. "פרוטוקול" הוא אוסף הפעילויות והעיבודים המתבצעים בשני הצדדים של שכבה אופקית מסויימת.

הארכיטקטורות הראשונות שהופיעו בשוק היו פרטיות, כלומר, התייחסו אך ורק למוצרי חברה מסויימת (כגון: SNA של IBM או DNA של DEC). החסרון של ארכיטקטורות פרטיות היה ברור: חוסר יכולת להתקשר למחשבים מתוצרת אחרת, ואילוץ המשתמשים לרכוש מוצרים מאותה חברה בלבד.

על רקע זה החליט ארגון ISO לפתח את מודל OSI, שפורסם לראשונה בשנת 1983, והיה אמור להיות "אב טיפוס" של רשתות פתוחות. ארכיטקטורת OSI נתמכה ע"י יצרני המחשבים, אך למרות זאת לא נקלטה בשוק.

לעומת זאת ארכיטקטורת TCP/IP (או ארכיטקטורת האינטרנט) זכתה לתפוצה גדולה, והיא כיום הארכיטקטורה הפתוחה הדומיננטית בשוק.

פרק י' - מהפיכת ה-PC

1. התפתחות המחשבים האישיים

מחשבים אישיים היו קיימים כבר בסוף שנות ה-70. יצרנים כמו **Apple**, **Commodore** ו-**Tandy** מכרו מחשבים אישיים בהצלחה לא מבוטלת, אולם המשתמשים בהם באו מקהילית ה"משוגעים לדבר": מהנדסים וסטודנטים בעלי גישה לאלקטרוניקה, שהתייחסו לעיסוק הזה כתחביב. ההנחה שרווחה באותה תקופה היתה, שחברות המחשבים הגדולות לא יקחו חלק בכך, משום "שהן אינן יכולות לחשוב קטן". אולם בניגוד לציפיות, יבמ הפתיעה. באוגוסט 1981 הכריזה על מחשב ה-**IBM PC**, ובכך סללה את הדרך למהפכה הגדולה שחלה במיחשוב ובתקשורת.

הצטרפותה של חברת הענק לתעשיית המחשבים האישיים, עם מוצר טוב, אמין ולא יקר במיוחד - הגדילה במידה רבה את תפוצתם ואת הפופולריות שלהם. מחשבים אישיים החלו חודרים למשרדים, ותופסים את מקומם של המסופים כתחנות עבודה אישיות. תוכנות רבות ויישומים מגוונים שבעבר הורצו על מחשבים גדולים יותר, פותחו והותאמו עבור ה-**PC**. לדוגמא: מעבדי תמלילים, מחוללי יישומים, גליונות אלקטרוניים, תוכנות גרפיות ועוד.

ארכיטקטורת ה-**PC** הוכרה כפלטפורמה המועדפת למיחשוב אישי, וחברת יבמ הכתיבה למעשה את התקן התעשייתי של מחשבים אלה. חברות רבות (במיוחד מן המזרח הרחוק) "עלו על הגל", והחלו לייצר מחשבים וכרטיסים תואמים, שתפוצתם אף עלתה על זו של יבמ עצמה. תגובתה של יבמ התבטאה בפיתוח משפחות מחשבים אישיים חזקים ומתוחכמים יותר, פיתוח רשתות **PC** מקומיות וקישורן למחשבים הגדולים.

המחשבים הראשונים של יבמ (**IBM PC**) הוצגו בשנת 1981, נבנו סביב מעבדי 8088 של אינטל, וכללו זכרון **RAM** בסיסי בגודל **64KB** ו-5 חריצים (**Expansion Slots**), שלתוכם ניתן להתקין כרטיסי הרחבה שונים.

הגירסה הבאה **PC/XT** (**Extended**), הוכרזה בשנת 1983 , וכללה זכרון **RAM** בסיסי של **260KB** ו-8 כרטיסי הרחבה. בשתי הגירסאות ניתן להרחיב את הזכרון עד **640KB** ע"י כרטיסים נתקעים, ובגירסת **XT** אף ניתנה אופציה לדיסק קשיח של **10MB**. באוגוסט 1984 הוכרז **IBM PC/AT** שהיה כה חדשני, עד כי במשך קרוב לשנה לא הצליח אף יצרן אחר לחקות אותו. הוא כלל מעבד 16-סיביות (80286) עם אפשרות גישה לשדה כתובות של **16MB**, דיסק קשיח של **20MB** וחשוב מכל - תאימות אחורה למחשבי **PC/XT**. מערכות ההפעלה של ה-**XT** וה-**AT** היו **MS-DOS** (שפותחו ע"י חברת מיקרוסופט) והן תוכננו במקורן עבור מפעיל יחיד.

בשנת 1987 הכריזה יבמ על משפחת מחשבים אישיים חדשה **PS/2** (המבוססת על מעבדי 286 או 386), בעלת יכולת גרפית משופרת ומערכת הפעלה חדשה **OS/2**, המאפשרת ריבוי משימות בתוכנה (**Multitasking**).

מערכת ה-OS/2 (המסוגלת גם לפעול על מחשבי PC/AT), מאפשרת למחשב האישי להריץ תוכניות מתוחכמות (שהורצו קודם לכן רק על מחשבי מיני).

ביוני 1990 הכריזה יבמ על משפחה חדשה נוספת, PS/1, שנועדה לשוק הביתי. מערכת ההפעלה היא MS-DOS ונוספה לה מערכת יישומים חדשה MS-WORKS.

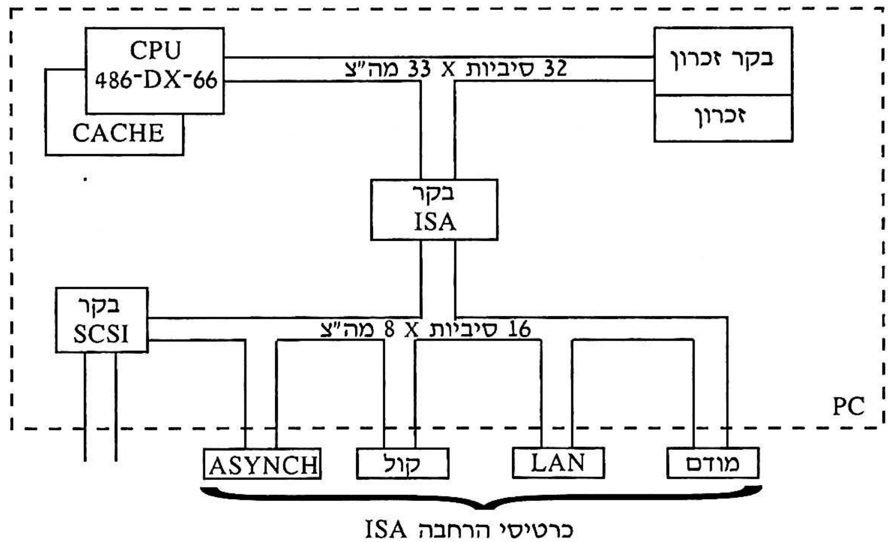
אינטל המשיכה בפיתוח מעבדים מהירים יותר (486,386) ובסוף שנת 1992 הציגה לראשונה את סדרת מעבדי הפנטיום. הם פעלו תחילה במהירות של 60 מה״צ, והגיעו אף למהירויות של 200 מה״צ. בהמשך הופיע מחשב PowerPC, שפותח במשותף ע״י יבמ, מוטורולה ואפל. הוא מייצג תפיסה טכנולוגית שונה לחלוטין, המבוססת על טכנולוגיית RISC, אשר היתה נפוצה קודם לכן בעיקר בתחנות העבודה. מעבד פנטיום-פרו של אינטל (הקרוי גם 686 או P6) מבוסס אף הוא על טכנולוגיית RISC. הוא תוכנן לארכיטקטורה של 32 סיביות בלבד, ולכן עוצמתו הרבה באה לידי ביטוי רק במערכת הפעלה של 32 סיביות (כמו Windows NT) ויישומים של 32 סיביות. מעבד הפניום-פרו מוצע במהירות מ-200 מה״צ ומעלה, יש לו זכרון מטמון (Cache) גדול יותר, והוא מסוגל להריץ 3 פקודות במחזור שעון אחד (לעומת 2 פקודות במחזור של הפנטיום הרגיל).

מעבד חדש נוסף המוצע ע״י אינטל הוא פנטיום MMX. זהו מעבד פנטיום שנוספו לו עוד כמיליון טרנזיסטורים, וע״י כך הוא מסוגל ליישם סט חדש של 57 פקודות לטיפול במולטימדיה. (ראוי לציין שמעבד זה פותח במרכז הפיתוח של אינטל בחיפה). פקודות MMX ייכנסו כסטנדרט גם לפנטיום-פרו (שייקרא ״פנטיום 2״) וכן לכל מעבד חדש של אינטל.

אינטל מתכוונת להמשיך בפיתוח טכנולוגיית RISC, וכזה יהיה המעבד הבא, שייקרא P7 (או בכינויו Merced). הוא מפותח במשותף עם חב׳ HP, ועתיד לצאת לשוק בשנת 1999.

2. ערוצי המחשב

המושג ערוץ (Bus) מתייחס לאופן זרימת המידע בתוך המחשב: כמה סיביות מועברות במקביל, ומהו קצב ההעברה. הערוץ הוא המקום שבו כרטיסי הרחבה שונים מתחברים למחשב (ראה ציור 10.1).



ציור 10.1 - חיבור כרטיסי הרחבה ל-PC

לכל כרטיס הרחבה יש צד המיועד לחיבור אל הערוץ, ועליו שורה של מגעים מצופים זהב. צד זה נתקע לתוך אחד מחריצי ההרחבה של המחשב, והמגעים שעל הכרטיס מתחברים ישירות לערוץ ומאפשרים העברת מידע של כמה סיביות במקביל.

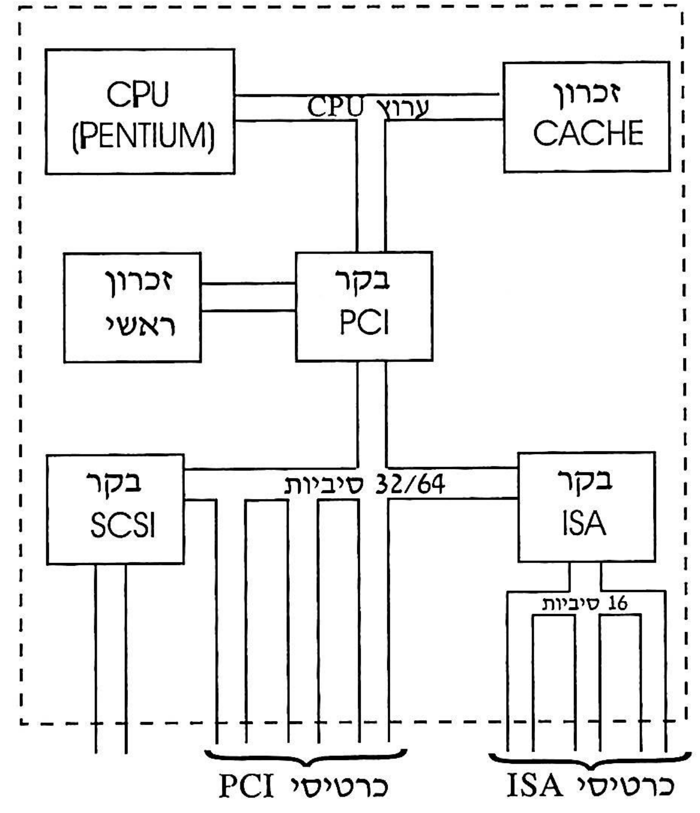
הערוץ הראשון שפותח למחשבי PC ו-XT היה בעל 8 סיביות ונקרא ISA Bus (Industry Standard Architecture). כשהוכרז מחשב ה-AT (בשנת 1984) הורחב הערוץ ל-16 סיביות, ועד היום הוא פועל במרבית סוגי המחשבים. מהירות השעון שלו היא 8 מה"צ, אך הוא מסוגל להעביר מקסימום תיאורטי של 42.67 מסל"ש בלבד (או 5.33 מיליון בתים בשניה). במציאות התברר שה-ISA עובד הרבה יותר לאט, ומדידות שונות שבוצעו הביאו למסקנה כי יכולת ההעברה שלו היא 11 מסל"ש לערך (או 1.4 MB/sec, מספר המתקבל מחלוקת 11 מסל"ש ל-8, מאחר ו-B מייצג בתים ולא סיביות).

בשנת 1987 יבמ הכריזה על סוג חדש של ערוץ שנקרא MCA (Micro Channel Architecture), שפעל ב-32 סיביות. ערוץ MCA עובד בשיטת Bus Mastering, המאפשרת העברת נתונים בערוץ התקשורת ללא התערבותו הישירה של המעבד המרכזי ומבלי להעמיס אותו, ובכך שופרו ביצועי המחשב.

ה-MCA התאים לשרתים של רשתות קטנות ובינוניות באותו זמן (מסוג 386/486). אולם חבי יבמ הגנה על ערוץ MCA במספר פטנטים ורשיונות, שמנעו את התפתחותו לערוץ תקני. כתוצאה מכך עברו יצרני המחשבים לערוץ EISA.

ערוץ EISA (Extended ISA) הוצג בשנת 1989 ע"י קבוצת יצרנים, כדי להמשיך ולתמוך בערוץ ISA, אך עם זאת לשפר אותו. הערוץ מכיל 32 סיביות, והוא תואם כלפי מטה לערוץ ISA, כלומר, אפשר לתקוע כרטיס ISA בערוץ EISA. קצב העבודה של EISA הוא 8 מה"צ, שהוא גם הקצב של ISA, אך יכולת העברת הנתונים התיאורטית שלו היא 32 MB/sec (מיליון בתים בשניה, B מציין "בתים"). כמו ערוץ MCA, גם ה-EISA עובד בשיטת Bus Mastering.

הערוץ שנקלט כתקן דה-פקטו בתעשיית המחשבים האישיים ומסופק כיום עם מחשבי פנטיום הוא PCI ‏(Peripheral Component Interconnect). זהו ערוץ שהוכרז ע"י אינטל בשנת 1991, תומך בהעברת נתונים של 32 או 64 סיביות, ובקצבי שעון של 33 או 66 מה"צ. לצורך השוואה: הערוץ המקורי של IBM PC תמך ב-8 סיביות בקצב 4.77 מה"צ, והערוץ של IBM AT עבד ב-16 סיביות בקצב של 8 מה"צ. ציור 10.2 מתאר את מבנה ערוץ PCI.



ציור 10.2 - מבנה ערוץ PCI

ערוץ ה-PCI יכול לספק קצב העברה עד 132 MB/sec (מיליון בתים לשניה), לעומת 32 MB/sec של ערוץ EISA. בעבודה עם 64 סיביות יעלה קצב ההעברה התיאורטי עד כדי 264 MB/sec. הערוץ נמצא בשימוש במחשבי 486 (32 סיביות x 33 מה"צ) וכן במחשבי פנטיום (64 סיביות x 66 מה"צ). בנוסף לבקר PCI קיים בדרך כלל גם בקר נוסף (ISA או EISA) עבור כרטיסים שונים (כגון מודמים).

במחשבים נישאים התפתח ערוץ שנקרא PCMCIA ששמו הוסב מאוחר יותר ל-PC Card. זהו ערוץ הדומה בתכונותיו לערוץ ISA: ‏16 סיביות, קצב שעון של 8 מה"צ ותפוקה מעשית של 1.4 MB/sec (או 11 מסל"ש). בשנת 1995 פורסם תקן לערוץ מתקדם יותר הנקרא Card Bus בעל 32 סיביות וקצב שעון של 33 מה"צ. בגלל מהירותו הגבוהה הערוץ יתאים במיוחד לרשתות מהירות מסוג: אתרנט מהיר ו-ATM. מספר יצרני מחשבים נישאים כבר הוציאו מחשבים בעלי ערוץ Card Bus (כגון: יבמ, טושיבה, HP, NEC ואחרים) וכן ניתן להשיג כרטיסים בממשק כזה. ראוי לציין כי ערוץ Card Bus יהיה תואם-אחורה לערוץ PC Card.

3. השוואת סוגי הערוצים השונים

הטבלה הבאה מסכמת את תכונות הערוצים השונים שהוזכרו לעיל, וכן היא כוללת מספר ערוצים נוספים המקובלים בשוק.

תכונה	ISA	EISA	MCA	PCI	PCMCIA	CardBus	Nu-Bus	S-Bus
תואם למחשב	PC	PC	PC	כולם	נישא	נישא	APPLE	Sun
רוחב הערוץ (סיביות)	16	32	32	32-64	16	32	16	32
מהירות הערוץ (מה"צ)	8	8	8-10	33	8	33	8	33
קצב עבודה תיאורטי *(MB/s)	5.33	32	40	132	5.33	132	5.33	132
קצב עבודה מעשי *(MB/s)	1.4	8	10	30-100	1.4	30-100	1.4	30-100
מקובל על רוב יצרני המחשבים	+	+	---	+	+ נישאים	(בעתיד) נישאים	---	---

*MB/s = מיליון בתים לשניה

ערוץ S-Bus קיים בתחנות עבודה של Sun הנקראות תחנות Sparc, וערוץ Nu-Bus מקובל במחשבי מקינטוש של חב' "אפלי". במחשבים נישאים (Laptops) קיים ערוץ מיוחד הנקרא PCMCIA, הדומה בתכונותיו לערוץ ISA, וכמובן שקיימים כרטיסים מיוחדים התואמים לערוץ זה (במיוחד: מודמים, כרטיסי רשת וכרטיסים אלחוטיים).

מהטבלה ברור יתרונו של ערוץ PCI, ולכן מובן מדוע הוא נפוץ מאוד, ומותקן ברוב המחשבים החדשים המסופקים כיום. גם החברות Apple ו-Sun הכריזו על כוונה להשתמש בו, למרות שהארכיטקטורות המסורתיות שלהן היו פרטיות.

יש לציין כי לאחרונה מוצעים כרטיסי PCI רבים בתפיסת Plug-and-Play, שמשמעותה קונפיגורציה אוטומטית מול מערכת ההפעלה (Windows 95). הכרטיס נתקע למחשב והכל מבוצע אוטומטית, ללא התערבות המפעיל. תפיסה זאת פועלת מזה זמן רב במחשבי מקינטוש ו-Sun ורק לאחרונה השתלבה בארכיטקטורת ה-PC.

ערוץ PCMCIA האיטי יחסית, אמור להתחלף בקרוב בערוץ מהיר יותר שייקרא CardBus שיועד למחשבים נישאים. ה-CardBus יהיה ברוחב של 32 סיביות ויפעל במהירות של 33 מה"צ (בדומה לערוץ PCI).

4. אפשרויות התקשורת מה-PC

בציור 10.1 ראינו כיצד מחברים כרטיסי הרחבה שונים ל-PC, לצורך יצירת התקשורת החיצונית. מספר כרטיסי תקשורת פותחו במשך השנים (ע"י יבמ ויצרנים אחרים) ולהלן נסקור מספר כרטיסים טיפוסיים:

א. כרטיס תקשורת אסינכרוני - מאפשר תקשורת טורית בהתאם לתקן EIA-RS-232, ומשמש לחיבור ה-PC למודם חיצוני, מרבב, שרת מסופים וכו'. ציור 2.1 מדגים שימוש בכרטיס זה בחיבור למודם חיצוני.

ב. כרטיס מודם/פקס - יישום זה מתואר בציור 2.2. המודם הפנימי חוסך מקום, הספק, כבלים ומחברים.

ג. כרטיס פקס ייעודי - משמש בעיקר לשרתי פקסים (דוגמה: כרטיס Gammafax).

ד. כרטיס דימוי (אמולציה) למסוף IBM 3270 - ביחד עם תוכנה מתאימה מאפשר ל-PC לדמות מסוף, ולהתחבר ישירות לבקר מסופים מסוג 3174 באמצעות כבל קואקסיאלי. הדבר מאפשר למשתמש ה-PC לבצע עבודות עצמאיות במחשב, ובשעת הצורך להכנס למחשב יבמ תוך דימוי למסוף. כרטיס כזה מסופק אמנם ע"י יבמ, אך המוצר הנפוץ ביותר בשוק הוא כרטיס IRMA של חברת DCA.

ה. כרטיס רשת מקומית (LAN) - מאפשר ל-PC להשתתף ברשת מקומית. מאחר וקיימים סוגים שונים של רשתות מקומיות (אתרנט, טבעת אסימון וכו'), נחוץ להתאים את סוג הכרטיס לסוג הרשת. בגלל הפופולריות הרבה של רשתות LAN, קיים הצע גדול בשוק של כרטיסים בעלי ביצועים שונים לתמיכה בסוגי רשתות וערוצים שונים. משפחת כרטיסים פופולרית במיוחד היא זו של חב' 3COM.

ו. כרטיסי רשת מהירים - עם התפתחות טכנולוגיות הרשת המהירות, כגון: אתרנט מהיר (100 מסל"ש), FDDI (100 מסל"ש), ו-ATM (155 מסל"ש), מוצעים גם כרטיסי רשת מהירים מתאימים.

ז. כרטיס X.25 - מאפשר חיבור ה-PC לרשת מיתוג-מנות, והפיכתו ל-X.25 DTE.

ח. כרטיס ISDN - הופך את ה-PC למסוף תקני ברשת ISDN, תוך ניצול כל האופציות האפשריות ברשת זו (כולל שיחות טלפון וועידת-וידיאו בחיוג).

ט. כרטיסי מולטימדיה - קיים בשוק הצע גדול של כרטיסי קול (הנפוצים שבהם הם מתוצרת חב' Creative), וכן כרטיסי רדיו וטלויזיה, ההופכים את ה-PC למקלט טלויזיה או רדיו.

5. סיכום פרק י'

בפרק זה למדנו על התפתחות המחשבים האישיים, החל ממחשבי PC/XT שהופיעו בראשית שנות השמונים, ובהמשך מחשבי AT (286), 386, 486 ופנטיום. התקשורת החוצה ממחשבים אלה מתבצעת בעזרת ערוצים (Buses), שלתוכם נתקעים כרטיסי הרחבה מסוגים שונים: מודמים, כרטיסי רשת, X.25, ISDN ועוד.

ערוצי המחשב הנפוצים הם: ISA (8/16 סיביות), EISA ו-MCA (32 סיביות) ו-PCI (32/64 סיביות). במחשבים נישאים הערוץ התקני כיום הוא PCMCIA (PC Card), אך בקרוב יוחלף בערוץ מסוג Card Bus.

ערוץ PCI, בעל היכולת הגבוהה להעברת נתונים (30-100 MB/sec, או 240-800 מסל"ש), הוא הערוץ המתאים ביותר לכרטיסי רשת מהירים, או כרטיסים הדורשים ביצועים גבוהים. הוא גם מסופק כיום כערוץ תקני עם מחשבי הפנטיום.

פרק י"א - מבוא לרשתות תקשורת מקומיות (LAN)

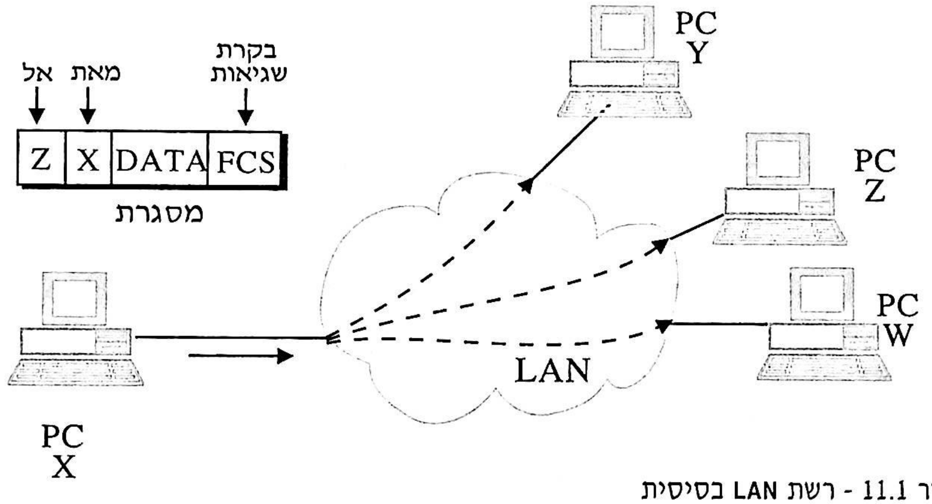
1. הקדמה - LAN מול WAN

כפי שראינו בפרק הקודם, המחשב האישי הפך לכלי עיקרי בכל משרד ותפוצתו עלתה בקצב מהיר. לאחר שהפך לכלי המיחשוב הסטנדרטי של המשתמש הבודד, הועלתה באופן טבעי הדרישה לשפר את משאבי המיחשוב בארגון ע"י חיבורם לרשת תקשורת מקומית. השיפור מתבטא בשיתוף ציוד היקפי יקר (כגון: מדפסות לייזר, דיסקים וכו'), גישה מהירה של כל PC לכל מחשב אחר ברשת לצורך העתקת קבצים, גישה לאמצעי תקשורת חיצוני (מודם, פקס, אינטרנט) והרצת יישומים משותפים, כגון: דואר אלקטרוני. למעשה ניתן לנצל את שרותי הרשת בצורה יעילה בכל אתר שיש בו שני מחשבים לפחות. לכן אין זה מפתיע שכמות המחשבים האישיים המחוברים לרשתות עולה בהתמדה, ואפשר למצא רשתות תקשורת מקומיות (רת"מ או באנגלית Local Area Networks - LAN) לא רק בחברות גדולות, אלא גם במשרדים קטנים (עורכי-דין, מרפאות, סוכני ביטוח ועוד).

בפרקים הקודמים הכרנו רשתות תקשורת מרחביות (Wide Area Networks - WAN) מסוגים שונים: טלפון, X.25, FR ו-ISDN. רשתות אלה מאופיינות בפריסה גיאוגרפית רחבה (ולמעשה בלתי מוגבלת), בבעלות ציבורית, או פיקוח ציבורי (כדוגמת "בזק") ובקצבים נמוכים יחסית. אולם המאפיין הבולט ביותר של רשתות WAN הוא שהן פעלו באופן מסורתי בשיטת Connection-Oriented (CO) (ראה לדוגמא פרק ה' פיסקה 2). בשיטה זו נוצר קשר (מסלול) בין שני הצדדים עוד בטרם החל שלב העברת הנתונים, והוא מתנתק בסיום התקשורת. תהליך התקשורת ברשתות מסוג כזה מורכב לכן משלושה שלבים: שלב הקמת הקשר (חיוג), שלב העברת המידע ושלב הניתוק, שבו משוחררים כל המשאבים שהוקצו לטובת המסלול הזה.

רשתות תקשורת מקומיות (רת"מ) פועלות בשיטה שונה לחלוטין, שיטת Connectionless Oriented (CL). הנתונים מכל מחשב ברשת נשלחים במסגרות, הכוללות את כתובות השולח והנמען, וכן "ארוזים" במסגרות פרוטוקולים עיליים. הרשת אינה מקצה מסלול מיוחד להתקשרות בין הצדדים, אלא כל מסגרת מנותבת בהתאם לכתובות שהיא מכילה.

ציור 11.1 מתאר רשת LAN בסיסית:



ציור 11.1 - רשת LAN בסיסית

לכל מחשב (או תחנת עבודה) המחובר לרשת יש כתובת, הצרובה על כרטיס הרשת שלו. אם מחשב X רוצה לשלוח נתונים למחשב Z, הוא מחלק אותם למסגרות. בכותרת של כל מסגרת יש שדות של "כתובת השולח" (מאת X) ו-"כתובת הנמען" (אל Z). המסגרת המשודרת מתחנה X מופצת לכל התחנות האחרות המחוברות לרשת. כל תחנה משווה את הכתובת "אל" (Z במקרה שלנו) עם הכתובת העצמית שלה, ואם הכתובות שונות - התחנה הקולטת תתעלם מן המסגרת. אולם כרטיס הרשת של מחשב Z יזהה את כתובתו, יקלוט את המסגרת ויעביר אותה לעיבוד במחשב. אפשר לכן להגיד שרשת LAN בסיסית עובדת בצורה של שידור כולל (Broadcast), וכל מסגרת הנכנסת לרשת מופצת במקביל לכל התחנות, אבל נקלטת למעשה רק ע"י תחנה אחת. מנגנון מיוחד הנקרא "שיטת גישה" (Access Control) מבטיח את הגישה המסודרת לרשת של כל מחשב. (הערה: ברשתות של היום קיימת גם טכנולוגיה של מיתוג, המבטלת את השימוש בשידור כולל והופכת את הרשת למתג מסגרות, כפי שנראה בפרק י"ז).

מאפיינים נוספים של רשתות מקומיות הם:

- פריסה גאוגרפית מוגבלת - בניין, קבוצת בניינים או קמפוס. (הערה: בהמשך נכיר גם שיטות לחיבור מרוחק בין רשתות מקומיות).
- תקשורת בקצבים גבוהים (10 עד 100 מסל"ש הם היום קצבים מקובלים ב-LAN, לעומת 2 מסל"ש שנחשב לקצב גבוה ברשתות WAN).
- הרשת נמצאת בבעלות פרטית וניהולה נמצא באחריות הארגון.

טכנולוגיית ה-LAN התפתחה בצורה מהירה והטביעה את רישומה על כל שיטות ויישומי התקשוב. קצבי העבודה של הרשתות עלו (לדוגמה: האתרנט, שהחל את דרכו בקצב של 10 מסל"ש, פועל היום גם ב-100

מסל"ש וכבר יש הכרזות על מוצרים שיפעלו ב-1000 מסל"ש). הטופולוגיות של ראשית הטכנולוגיה - טופולוגיות הערוץ המשותף (Shared Media) - פינו את מקומן לטופולוגיות של מיתוג (Switched Media), וגם אמצעי הכבילה השתנו. הרשתות של היום שונות במידה רבה מהרשתות שפעלו אך לפני עשור שנים, אם כי הפרוטוקולים הבסיסיים לא השתנו.

2. התפתחות רשתות מקומיות

הרת"מ הראשון היה האתרנט, שפותח במקור ע"י XEROX בראשית שנות ה-70 כפרוייקט מחקר, ותוצאותיו פורסמו לראשונה ב-1976. בהמשך הצטרפו גם החברות אינטל ודיגיטל, והמפרטים הראשונים פורסמו על-ידן בשנת 1980. גירסה מתוקנת אומצה ע"י ה-IEEE ואושרה כתקן הנקרא 802.3. האתרנט הפך לרת"מ הפופולרי ביותר, וכמות ההתקנות שלו כיום עולה על כל רשת אחרת.

כניסת יבמ לשוק הרת"מ היתה איטית במקצת. תחילה הכריזה יבמ (בשנת 1984) על מערכת הכבילה (Cabling System). לאחר מכן הציגה את PC Network שהיתה במקורה רשת רחבת-סרט (Broadband) שפעלה על כבל קואקסיאלי (כמו טלביזיה בכבלים) בקצב של 2 מסל"ש. בשנת 1985 הכריזה על רשת "טבעת אסימון" (Token Ring) שאף אושרה כתקן ע"י IEEE (802.5).

עיקר מאמצי הפיתוח של יבמ בתחום הרשתות המקומיות בשנים האחרונות מופנה לכיוון טכנולוגית טא"ס (טבעת אסימון), וזה כולל העלאת הקצב ל-16 מסל"ש (לעומת 4 מסל"ש בתחילה) ופיתוח התקני גישור שונים לרשתות אחרות ולרשתות SNA.

ענק תקשורת אחר, AT&T, פיתח אף הוא רת"מ בשם STARLAN, הדומה בעקרון פעולתו לאתרנט, אך פועל בקצב של 1 מסל"ש על זוגות שזורים. יתרונו העיקרי של ה-STARLAN הוא המחיר הנמוך של התשתית הנדרשת (חוטי טלפון), אולם חסרונו הוא הקצב של 1 מסל"ש, הנמוך לעומת האתרנט (10 מסל"ש) והטא"ס (4 או 16 מסל"ש). ה-STARLAN הוכר אף הוא כתקן ע"י IEEE ונקרא: 802.3 1Base5. משמעות השם היא: 1 מסל"ש, קידוד Baseband ואורך מקטע של 500 מטר. בהמשך הכריזה AT&T על רשת STARLAN 10, הפועלת בקצב של 10 מסל"ש.

ה-ARCNET היא רשת מקומית שפותחה ע"י חברת DATAPOINT, ולמעשה היתה הרת"מ הראשונה שפעלה בצורה מסחרית עוד בשנת 1977. זוהי רשת הפועלת בקצב של 2.5 מסל"ש על קואקס דק (THIN COAX), זוגות שזורים או סיבים אופטיים. למרות שהרשת אינה מבוססת על כל תקן של IEEE (בניגוד לרשתות שצויינו לעיל), היא זכתה לפופולריות גדולה בארה"ב ובאירופה בעיקר בשל מחירה הנמוך. גירסה מתקדמת ומהירה יותר, ARCNET PLUS, מוצגת לאחרונה, ופועלת בקצב של 20 מסל"ש.

רשת LOCALTALK של חב' APPLE נועדה לרשת מחשבי מקינטוש. הרשת עובדת בקצב איטי (יחסית) של 230.4 קסל"ש בטופולוגיה של BUS (ראה להלן), על זוגות שזורים מסוככים באורך כולל של 300 מטר. מחשבי מקינטוש נמכרים כשהם כבר מצוידים במימשק לרשת, ולכן בניית הרשת אינה כרוכה

כמעט בכל השקעות. זה מסביר את הפופולריות הרבה של רשתות LOCALTALK, למרות שגם הן אינן מוכרות כתקניות ע"י IEEE.

בנוסף לרשתות שצויינו לעיל קיימות בשוק רשתות מקומיות בתחום הנמוך, לא תקניות, הזוכות לפופולריות רבה בשל מחירן הנמוך וקלות התקנתן ותפעולן. נציין כדוגמה את רשת LANTASTIC שפעלה בקצב של 2 מסל"ש על זוגות שזורים, והתאימה במיוחד לרשתות בגודל של 2-20 משתמשים. לאחרונה יצאה גירסה של LANTASTIC הפועלת בקצב של 10 מסל"ש (אתרנט), והמתאימה למספר גדול יותר של משתמשים.

נסכם את האמור בפיסקה זאת בטבלה הבאה (התקנים ושיטות הגישה יוסברו בהמשך):

רת"מ	קצב (מסל"ש)	תקן	שיטת גישה
ETHERNET	10	802.3	CSMA/CD
		10Base 2/5/T	
TOKEN RING	4,16	802.5	טא"ס
PC NET	2		CSMA/CD
STARLAN	1	802.3	
		1 Base 5	CSMA/CD
STARLAN 10	10		CSMA/CD
ARCNET	2.5		אסימון
ARCNET+	20		אסימון
LOCALTALK	0.23		CSMA/CA
LANTASTIC	2,10		פרטית

3. מבנה רשתות מקומיות

כפי שראינו בציור 11.1, רת"מ (LAN) היא "ענן" שמחוברים אליו מחשבים וציוד הקפי מסוגים שונים. ה"ענן" מתפקד למעשה כמתג מסגרות: כל מסגרת הנכנסת לרשת מנותבת למחשב היעד על פי הכתובת שבתוכה. כדי לחבר מחשב לרשת יש להתקין בו כרטיס מיוחד, הנקרא "כרטיס רשת" (Network Interface Card=NIC), הכולל כבר את הלוגיקה של שיטת הגישה לרשת, וכן כולל את המספר הסידורי של הכרטיס כפי שנצרב ע"י היצרן ואינו ניתן לשינוי. כרטיס הרשת וה"ענן" חייבים לדבר באותה שפה, שהיא שיטת הגישה לרשת, או פרוטוקול הגישה לרשת.

בנוסף לאמור לעיל יש להגדיר את צורת העבודה של הרשת, הנקבעת ע"י מערכת ההפעלה של הרשת (Network Operating System=NOS). כאן יש שתי אפשרויות:

- רשת שיוויונית (Peer-to-Peer), שבה כל המחשבים שווים, וכל מחשב יכול לפנות ולקבל שירותים מכל מחשב אחר ברשת. דוגמאות: Appletalk ,Lantastic ,Windows-95.

- רשת לקוח/שרת (Client/Server), שבה מוגדרים מחשבים מיוחדים הנותנים שירותי-רשת (כגון: שרת קבצים, שרת הדפסות, שרת דואר אלקטרוני, שרת פקס וכו'). כל היתר מוגדרים כלקוחות, הפונים לשרתים השונים בעת הצורך. דוגמאות: NetWare (נובל), LAN Server (יבמ), Windows NT.

לסיכום, רשת LAN בנויה מהמרכיבים הבאים:

א. "ענן" הרשת
- רכזות המחוברות בטופולוגיה מסויימת
- תווך התקשורת, כלומר סוגי הכבלים בין הרכזות

ב. כרטיס רשת (NIC) בכל מחשב, הקובע את פרוטוקול הגישה

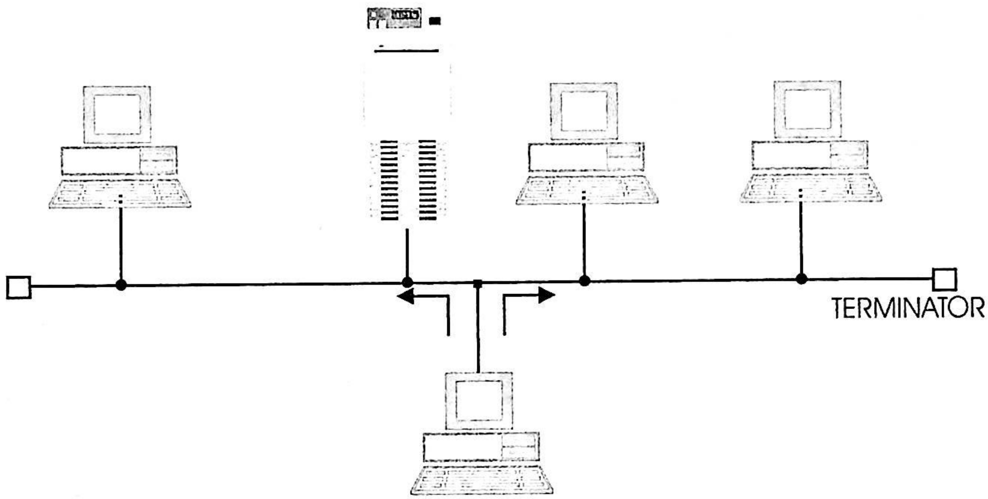
ג. מערכת ההפעלה של הרשת (NOS), הקובעת את צורת העבודה.

בהמשך פרק זה נרחיב את הדיבור על מרכיבי ה-LAN השונים.

4. טופולוגיית רשתות

הטופולוגיה מגדירה את הצורה הפיזית שבה מחוברות התחנות ברשת זו עם זו. קיימות 3 טופולוגיות בסיסיות והן:
- אפיק (Bus)
- טבעת (Ring)
- כוכב (Hub,Star).

טופולוגיית האפיק (ראה ציור 11.2) היא הותיקה ביותר והיא ניתנת למימוש ע"י כבל קואקסיאלי או זוג שזור, אך קשה ליישם אותה עם סיב אופטי. כל תחנה מתחברת ישירות לרשת ולכן היא יכולה לשדר לכל התחנות ולהאזין לכל התשדורות.

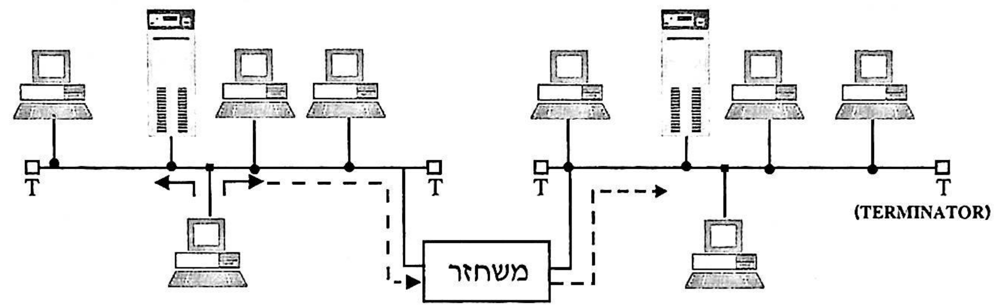


ציור 11.2 - טופולוגיית האפיק (Bus)

פרוטוקול הגישה לרשת מבטיח שרק תחנה אחת על האפיק יכולה לשדר בהצלחה מסגרת ברגע מסויים. לכן ביצועי הרשת יורדים כאשר מחברים מספר רב של תחנות לאפיק, משום שכל מחשב צריך להמתין יותר זמן לקבלת זכות גישה, והרשת נעשית יותר איטית.

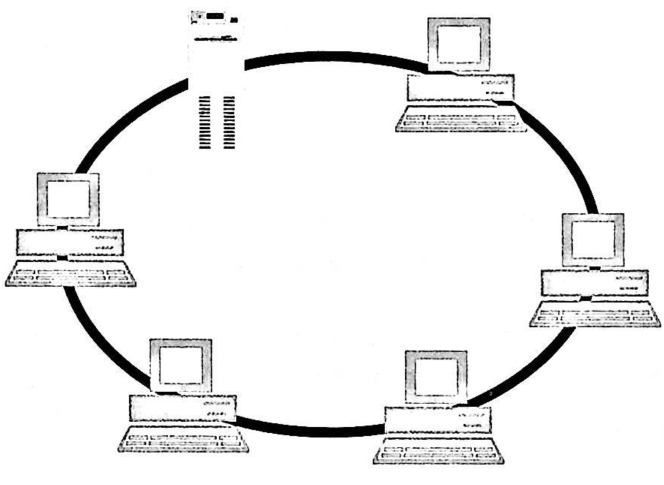
טופולוגיית האפיק היא פסיבית, כלומר המידע מתפשט לאורך הכבל והמחשבים רק מאזינים לו ואינם מבצעים שיחזור. לכן, אם תחנה נופלת, אין לכך כל השפעה על תפקוד הרשת. אולם אם הכבל נקרע - הרשת תפסיק לעבוד. בשני קצוות הרשת יש להתקין "סיים" (Terminator) כדי למנוע היווצרות הדים (גלים חוזרים) ברשת.

מאחר ולכבל הקואקסיאלי יש ניחות, עוצמת האות נחלשת ככל שהכבל ארוך יותר, וקיימת מגבלה לאורך הכללי של המקטע (Segment). אם נדרש, אפשר להגדיל את טווח הרשת ע"י שימוש במשחזר (Repeater), המגביר את האות ומאפשר להוסיף עוד מקטע (אחד או יותר). ציור 11.3 מתאר את פעולת המשחזר.



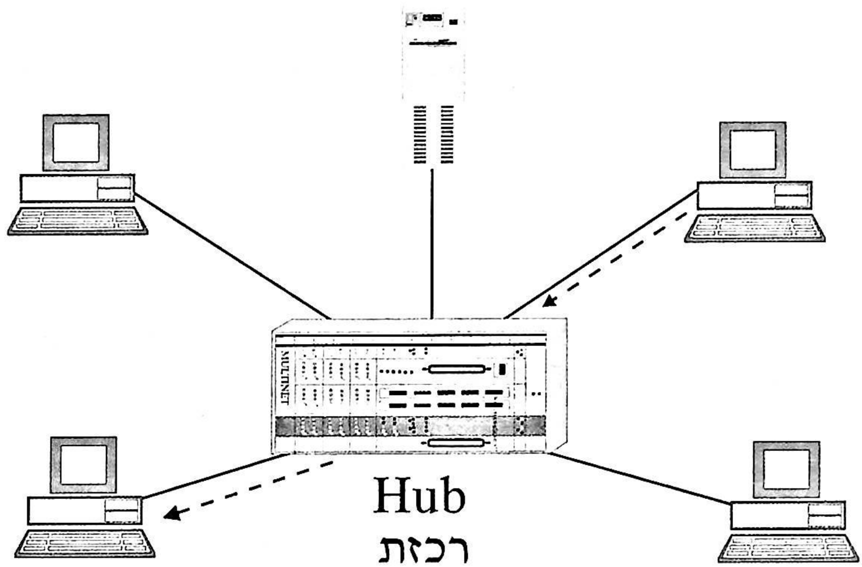
ציור 11.3 - משחזר (Repeater)

בטופולוגיית טבעת נוצרת לולאה סגורה, שבה המידע עובר דרך כל התחנות. כל תחנה משמשת כמשחזר אקטיבי (Repeater) ולכן אם תחנה מסויימת נופלת, או הטבעת ניזוקה ונפתחת - נפסקת התקשורת. בעיה זו נפתרה ע״י תחכום של פרוטוקולי הגישה ומעגלי החומרה.


ציור 11.4 - טופולוגיית טבעת (Ring)

אחת השיטות להעברת נתונים לאורך טבעת נקראת ״העברת האסימון״ (Token Passing). ה״אסימון״, שהוא מסגרת מיוחדת וקצרה, עובר ממחשב למחשב, עד שהוא מגיע למחשב שיש לו נתונים לשדר. המחשב המשדר מצרף לאסימון כתובות ונתונים ושולח את המסגרת לאורך הטבעת. המסגרת עוברת בין כל המחשבים, כל-אחד בודק אם הוא הנמען, עד שהמסגרת מגיעה למחשב היעד ושם היא נקלטת. הפעולה שתוארה לעיל מדגימה בצורה אחרת את התפקיד של רשת LAN בסיסית שהוא: מיתוג מסגרות.

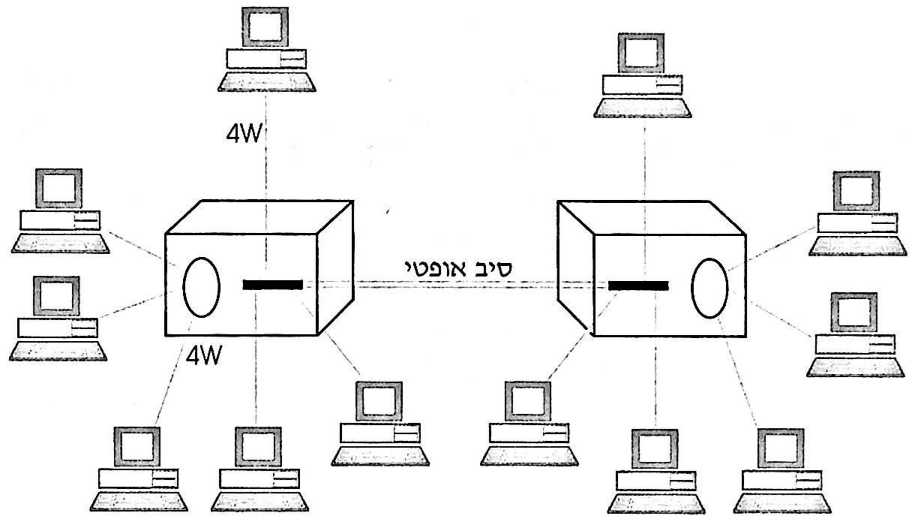
בטופולוגית כוכב (או רכזת) קיים אלמנט מרכזי (הנקרא **Hub**) שאליו מחוברות כל התחנות. זוהי הטופולוגיה המוכרת לנו מעולם הטלפוניה, שבה כל קוי הטלפון מחוברים למרכזיה. היתרון הוא שקיימת גישה נוחה לחיבור וניתוק מנויים, לאיתור תקלות ולבקרת רשת באמצעות ה-**Hub**. החסרון הוא שהכוכב נהפך לרכיב קריטי שיש לגבות אותו באמצעים שונים.



ציור 11.5 - טופולוגיית כוכב (**Hub**)

הרכזת היא בדרך-כלל מוצר אקטיבי, המשחזר ומשדר מחדש את האות, בדיוק כפי שעושה **Repeater**. לכן לפעמים קוראים לרכזת גם "משחזר רב-מבואות" (**Multiport Repeater**).

משלוש טופולוגיות בסיסיות אלו התפתחה טופולוגיה מעורבת חדשה, המבוססת על **Hub** בכל אתר המסוגל לתמוך גם ברשתות **Bus** (כגון אתרנט) וגם ברשתות טבעת. התחנות מחוברות ל-**Hub** בזוגות שזורים והרכזות מחוברות בינן לבין עצמן בסיבים (ראה ציור 11.6).



ציור 11.6 - טופולוגיית רכזות

טופולוגיה זאת היא גמישה מאוד, שכן היא מאפשרת ע״י שינויים בחיבורי ה-Hub ליצור טבעת לוגית, עץ לוגי או רשת Bus. ע״י כך תכנון התשתית אינו קשור לבחירת הציוד והתוכנה שייבחרו ליישום הרשת. קיימות היום בשוק רכזות מודולריות בגדלים שונים, ובעלות כרטיסים נתקעים במגוון סוגים. ע״י החלפת כרטיסים ניתן לתמוך בכל אתר בסוגי רשתות וממשקים שונים, וכן ניתן לגשר ביניהם ע״י התקנת מודולי גישור מתאימים.

בנוסף לכך קיימות גם רכזות משורשרות (Stackable Hubs) שאפשר להתקינן זו על גבי זו, ולהגדיל את הרשת באופן הדרגתי לפי הצורך. הרכזות מחוברות ביניהן ע״י אפיק מהיר, כך שאין ירידה בביצועים כשמחברים כמה יחידות זו לזו.

5. תווך התקשורת

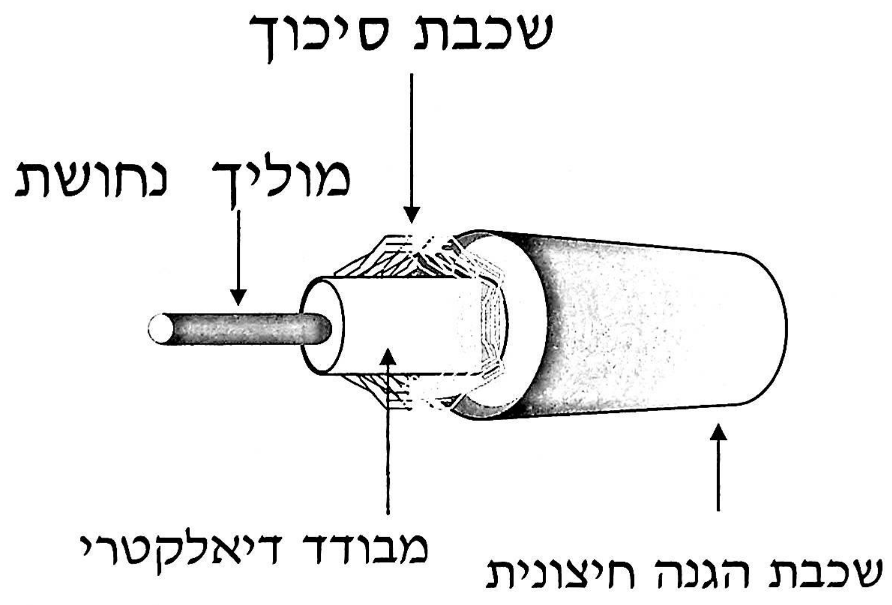
התווך הפיזי שבו משתמשים ברת״מ יכול להיות כבל קואקסיאלי, זוגות שזורים או סיבים אופטיים.

הכבל הקואקסיאלי (או בקיצור קואקס) מוכר לנו מרשתות הטלוויזיה בכבלים. מבנה הכבל הקואקסיאלי מתואר בציור 11.7. הוא מורכב מחוט נחושת מוליך במרכז, שכבת בידוד, שכבת סיכוך בנויה בצורת שתי-וערב (מנחושת או אלומינום) ולבסוף כיסוי חיצוני. האותות החשמליים מועברים ע״י הגיד המרכזי, והמעגל החשמלי נסגר ע״י שכבת הסיכוך, המשמשת גם להארקה, ומגינה על המוליך מפני רעשים והפרעות. לכן כבל קואקסיאלי נחשב כחסין מפני הפרעות (יותר מחוטים שזורים) ובעל רוחב-סרט יותר גבוה.

הכבל נפוץ בעיקר בשני גדלים:

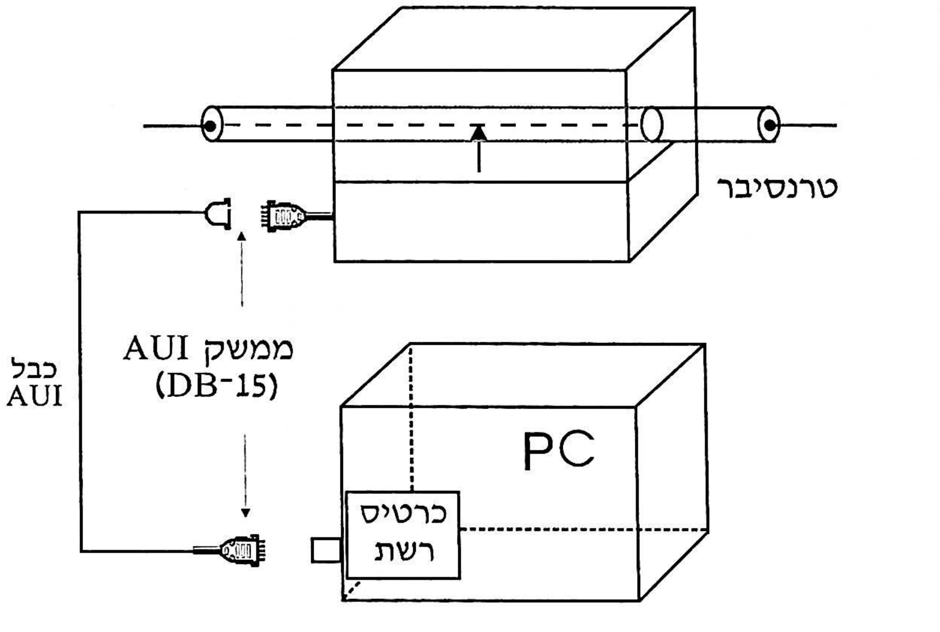
- **Thin** (בעובי של כ-5 מ"מ), מופיע בדרך כלל בצבע שחור (נקרא גם RG-58).
- **Thick**, כבל עבה יותר, מופיע לעיתים בצבע צהוב (נקרא גם RG-8 או RG-11).

הכבל הדק גמיש יותר ומשמש לחיבורים בתוך בניינים או בתוך קומות עד למרחק של 185 מטר (ללא הגברה). הכבל העבה משמש לחיבור בין בניינים וניתן לפרוס אותו עד לטווח של 500 מטר (ללא הגברה). שני הכבלים מתאימים לטופולוגיה של Bus. בעיקרון, הכבל הקואקסיאלי הוא יקר וקשה להתקנה. הכבל העבה היה הכבל המקורי שהוגדר עבור אתרנט, ולכן בעבר היה נפוץ מאוד. כיום יש נטייה ברורה לעבור לשני סוגי התווכים האחרים (סיבים וזוגות שזורים). במערכת הכבילה של יבמ, לדוגמה, אין בכלל הגדרה של כבל קואקסיאלי.



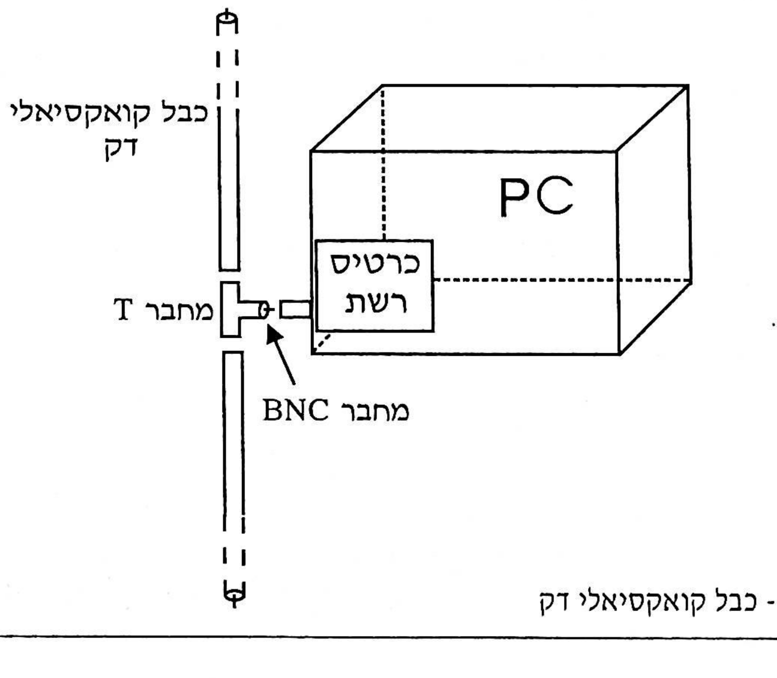
ציור 11.7 - כבל קואקסיאלי

כדי לחבר מחשב לכבל קואקסיאלי עבה משתמשים באלמנט מיוחד הנקרא **Transceiver** (ראה ציור 11.8). הטרנסיבר מכיל מחט הדוקרת את הכבל הקואקסיאלי ויוצרת מגע חשמלי עם המוליך המרכזי. האות משודר החוצה מהטרנסיבר באמצעות מחבר מסוג DB-15 (זכר), שאליו מתחבר כבל מיוחד הנקרא "כבל AUI", המתחבר בקצהו השני לכרטיס הרשת במחשב. המתח הדרוש לפעולת הטרנסיבר מתקבל מה-PC דרך כבל AUI (Attachment Unit Interface).



ציור 11.8 - שימוש בטרנסיבר

בכבל קואקסיאלי דק אין צורך בטרנסיבר, והפונקציה שלו מתבצעת על כרטיס הרשת. מחבר קואקסיאלי מסוג T מאפשר התפצלות מהכבל הקואקסיאלי הדק וכניסה לכרטיס הרשת (ראה ציור 11.9). לכן כרטיס רשת העובד ברשת קואקסיאלית מסוג Thin מסופק עם מחבר קואקסיאלי (הנקרא גם מחבר BNC).

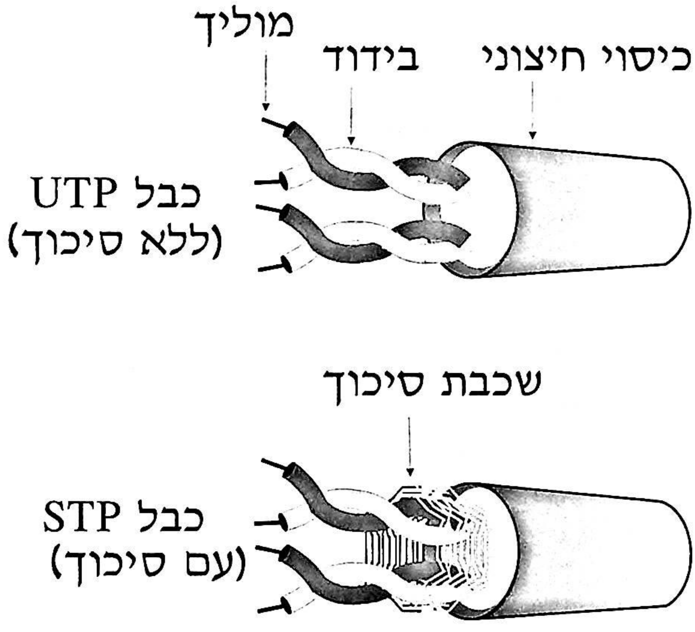


ציור 11.9 - כבל קואקסיאלי דק

זוגות שזורים (Twisted Pairs - TP) מוכרים לנו מחיבורי הטלפונים בבתים. הזוגות יכולים להיות מסוככים (STP) או בלתי מסוככים (UTP). יתרונם הגדול נעוץ במחירם הזול, קלות התקנתם, גמישותם והעובדה שהם נמצאים בכל מיתקן. ניתן להשתמש בכבל אחד המכיל זוגות הן לטלפוניה והן לרת״מ ולפשט במידה ניכרת את ההתקנה. חסרונם הוא רוחב הסרט הנמוך, יחסית, המגביל את מרחקי העבודה שלהם.

הערה: Shielded Twisted Pair = STP
Unshielded Twisted Pair = UTP

זוגות שזורים מוגדרים כיום במערכות הכבילה של היצרנים הגדולים, ובייחוד יבמ (ICS) ו-AT&T (PDS).



ציור 11.10 - זוגות שזורים

תקן מיוחד לכבלי UTP פורסם במשותף ע״י הארגונים EIA ו-TIA. התקן, הנקרא EIA/TIA 568 (וגם ISO 11801) מגדיר חמישה סוגים (קטגוריות) של כבלי UTP:

קטגוריה	שימוש
1	דיבור בלבד
2	נתונים עד 4 מסל״ש
3	נתונים עד 10 מסל״ש
4	נתונים עד 16 מסל״ש
5	נתונים עד 100 מסל״ש

המחבר שבו משתמשים בזוגות שזורים לחווט רשתות נקרא RJ-45. זהו מחבר הדומה למחבר הטלפון RJ-11 אך גדול ממנו במקצת, ומכיל 8 פינים (בניגוד ל-4 פינים של RJ-11). כבלי UTP נמצאים כיום בשימוש נרחב ברשתות אתרנט מסוג 10BaseT, למרחקים עד 100 מטר.

סיבים אופטיים - היא טכנולוגיה יקרה משתי הקודמות, אך היתרונות הרבים שהיא מציעה הם כה משמעותיים, שאין ספק בכך כי השימוש בה יגבר. בסיבים אופטיים משתמשים בקרני אור להולכת האותות (ולא באותות חשמליים). לכן סיבים אופטיים נחשבים לתווך בטוח יחסית, שקשה להאזין לו. לסיב אופטי יש רוחב-סרט מאוד גבוה וניחות נמוך, כך שהוא מתאים במיוחד להתקנות תשתית הדורשות קיבול ומרחק גדולים. בשוק כבר קיימים מזה זמן מוצרי FDDI אופטיים של הרבה חברות, אביזרים אופטיים שונים (כגון: Repeaters, Transceivers) וכן החלו להופיע מוצרי ATM ו-SDH בממשקים אופטיים, בקצבים גבוהים עד 10,000 מסל"ש (או 10 גיגה סל"ש). בתנאי מעבדה הודגמו גם קצבים של 200 גיגה סל"ש.

6. פרוטוקולי גישה

שיטת הגישה לרשת נקבעת ע"י סוג כרטיס המימשק שבה מצוייד ה-PC. כרטיס זה נקרא NIC (Network Interface Card) והוא נתקע לתוך אחד מחריצי ההרחבה של ה-PC ומאפשר לו גישה לרשת.

הרשת במהותה, היא יישות דמוקרטית. כל אלמנט יכול לנסות ולשדר מידע בכל רגע, ולכן חייב להיות מנגנון בקרה הקובע איזה תשדורת תרוץ ברשת ברגע מסוים. פרוטוקול הגישה מבטיח זמינות שווה של הרשת לכל משתמש, וכן מבטיח נצילות גבוהה של המערכת. שתי שיטות הגישה הנפוצות ביותר הן אתרנט (CSMA/CD) וטבעת האסימון (Token Ring).

<u>אתרנט</u>

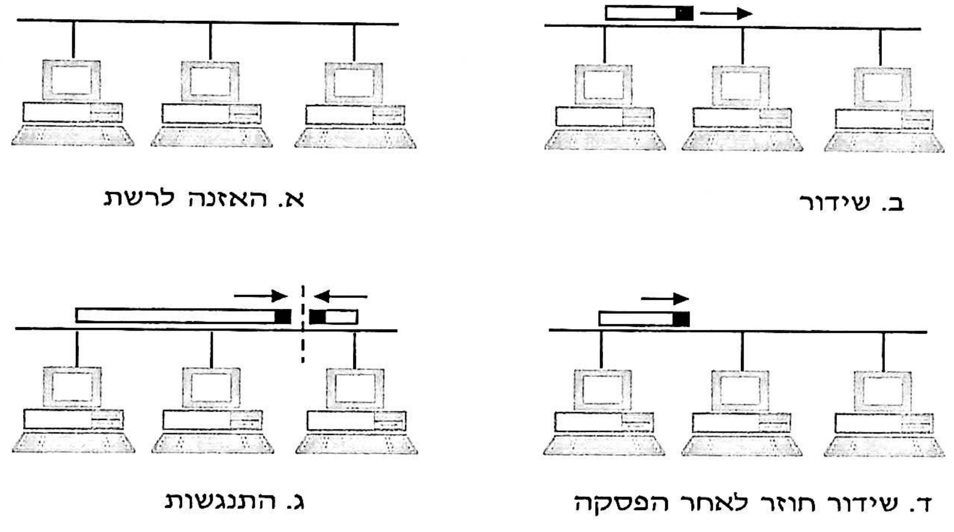
CSMA/CD - משמעותו: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection.
התהליך הוא כדלקמן (ראה ציור 11.11):

א. התחנה מאזינה לרשת, או במילים אחרות היא מנסה לגלות (Sense) אם קיים גל-נושא (Carrier).

ב. אם התחנה אינה מגלה גל-נושא במשך פרק זמן מוגדר (כלומר אין שידור ברשת), היא מתחילה בשידור ותוך כדי כך היא ממשיכה להאזין לרשת.

ג. אם תחנה אחרת שידרה באותו זמן, התחנה מגלה התנגשות (Collision) ומפסיקה לשדר. גם התחנה השנייה תגלה התנגשות, כך ששתיהן תפסקנה לשדר.

ד. שתי התחנות תנסינה לשדר שנית במועד מאוחר יותר, הנקבע ע"י אלגוריתם מיוחד, המקטין את ההסתברות להתנגשות נוספת.



ציור 11.11 - גישה לרשת בשיטת אתרנט

הסיכוי להתנגשות הוא פונקציה של:

- מספר המשתמשים ברשת
- אורך התשדורות

לכן ברור שקשה לחזות מראש את זמני התגובה של הרשת וזוהי אחת המגבלות של CSMA/CD.

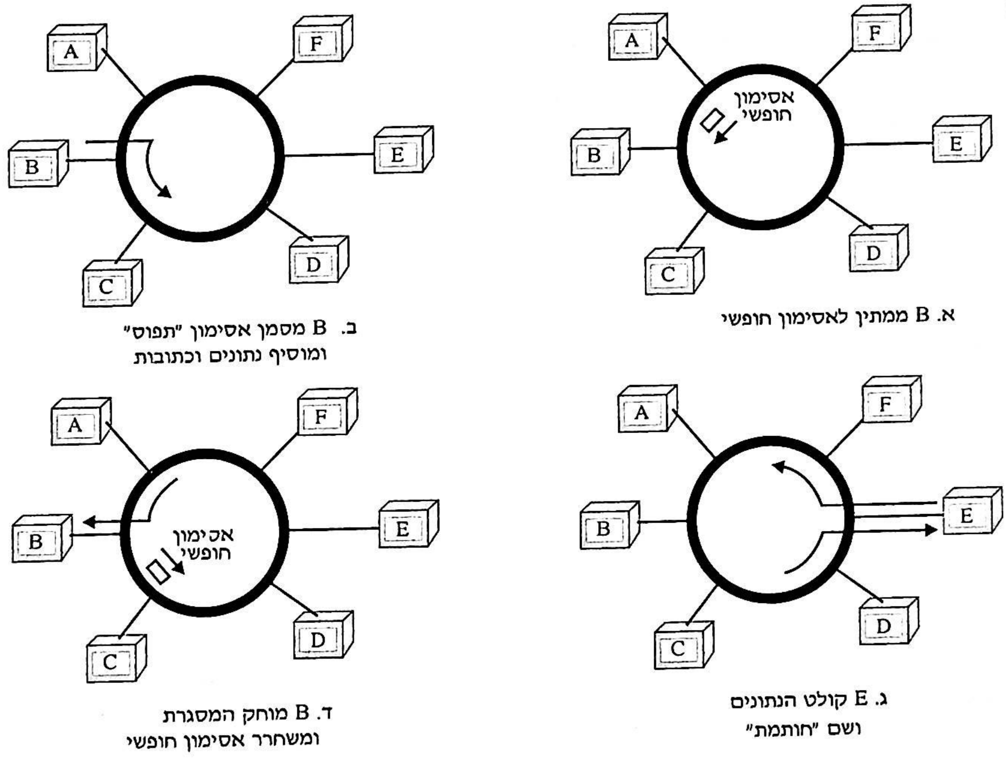
מקובל להעמיס רשתות מסוג זה עד 30% מיכולתן בלבד. העמסה גבוהה מדי תביא לנקודת שבירה, שבה זמני התגובה יהיו ארוכים מדי והרשת תחסם ע"י התנגשויות חוזרות ונשנות.

שיטת CSMA/CD נהוגה ברשתות ETHERNET, STARLAN ואחרות.

טבעת אסימון (טא"ס)

"אסימון" הוא סוג מיוחד של מסגרת העוברת מתחנה לתחנה ברשת. כאשר לתחנה מסוימת יש אסימון, ניתנת לה הזכות לשדר ברשת. אף תחנה אחרת אינה יכולה לשדר מבלי שיהיה ברשותה אסימון. אם התחנה בעלת האסימון אינה רוצה לשדר - היא מעבירה את האסימון לתחנה הבאה. אם היא רוצה לשדר - היא מסמנת את האסימון כ"תפוס", מצמידה אליו את ההודעה ומשדרת אותו. ההודעה סובבת בטבעת, ונקלטת ע"י כל תחנה. אם ההודעה מיועדת לתחנה זו, היא מועתקת והתחנה מסמנת שהתבצעה קליטה. אם ההודעה אינה מיועדת לתחנה הקולטת, היא משוחזרת ע"י התחנה (פעולת Repeater) וממשיכה בדרכה הלאה. כשההודעה השלימה סיבוב שלם היא חוזרת לתחנת המוצא, ואז מועבר אסימון חופשי לתחנה הבאה.

היתרון של שיטת האסימון הוא בכך שזמן התגובה הוא דטרמיניסטי, כלומר, ניתן להערכה במידה רבה של דיוק. כאשר העומס גבוה שיטה זו יותר יעילה משיטת CSMA/CD, אולם יעילותה היחסית יורדת בעומסים נמוכים. כרטיסי הרשת (NIC) בשיטת האסימון הם יקרים יותר כיום מכרטיסי אתרנט, והתפוצה של רשתות טא״ס נמוכה בהשוואה לרשתות אתרנט.



ציור 11.12 -גישה לרשת בשיטת טא״ס

7. מערכות הפעלה לרשת

מרכיב חשוב נוסף ברשתות מקומיות הוא מערכת ההפעלה של הרשת(Network Operating System=NOS). אפשר לאמר באופן השוואתי כי ה-NOS מתייחס לרשת, כפי שה-DOS מתייחס ל-PC. במילים אחרות, כשם שמערכת ההפעלה של המחשב (כגון: OS/2, DOS או Windows) מנהלת את משאבי המחשב הבודד, כך מנהלת ה-NOS את משאבי הרשת. תפקיד ה-NOS הוא לשתף את כל משאבי הרשת (דיסקים, מדפסות וכו׳), ולנהל את הרשת על כל מרכיביה.

כפי שראינו קודם, מערכות הפעלה לרשת פועלות בשתי צורות עבודה:

א. רשת **לקוח/שרת**, שבה מחשב אחד (או יותר) מוגדר כ״שרת״ (Server) המספק שרותים ל״לקוחות״ (Clients). זאת רשת המיועדת למספר משתמשים רב, כמויות קבצים גדולות, גיבוי ואבטחת מידע, סוגים שונים של שירותים וקישוריות לרשתות אחרות או לעולם החיצוני.

ב. רשת **שיוויונית**, שבה כל מחשב יכול להיות שרת או לקוח, וכל מחשב יכול לפנות ולקבל שירותים מכל מחשב אחר ברשת. רשת כזאת נועדה למספר קטן של משתמשים הנמצאים באותה סביבה, היא זולה באופן יחסי, ואין כוונה להגדיל אותה בעתיד הקרוב.

ארכיטקטורת לקוח/שרת החליפה למעשה את ארכיטקטורת המחשוב המרכזי שהיתה מקובלת בדור הקודם (כדוגמת SNA של יבמ). במיחשוב המרכזי ציוד הקצה היה מסופים ״טפשים״ (Dumb Terminals), שנקראו כך משום שהיו חסרי יכולת עיבוד. כל העיבודים בוצעו במחשב המרכזי (Host), והתוצאות הגיעו בתקשורת למסופים. לעומת זאת ברשתות לקוח/שרת, ציוד הקצה הוא PC ״אינטלגנטי״, המריץ בעצמו את היישומים, אולם נעזר בשרותים ועיבודים שונים המסופקים ע״י שרת הרשת, לפי בקשת הלקוח. העיבוד ברשתות לקוח/שרת הוא למעשה מבוזר (Distributed) בין שרתי הרשת והלקוחות.

מערכות ההפעלה לרשת (NOS) הן פרטיות (לא תקניות), בניגוד לפרוטוקול הגישה לרשת ומערכות הכבילה שהם תקניים לחלוטין. מערכות ההפעלה לרשת התפתחו במשך השנים ביוזמתן של מספר חברות, שהבולטות שבהן מיקרוסופט, יבמ ונובל.

מיקרוסופט תרמה לשוק ה-NOS שלושה דורות של מוצרים:

א. בשנת 1984 הכריזה על מערכת ההפעלה MS NET. מדיניות החברה היתה לא לשווק את התוכנה למשתמש הסופי, אלא לתת רשיונות OEM (כלומר שחברות אחרות תשלבנה את המוצר במערכות שלהן). חב׳ יבמ קבלה רשיון כזה והכריזה על רשת IBM PC LAN Program (או בקיצור PC LAN). מערכת ההפעלה PC LAN עבדה תחילה על רשת מקומית מסוג IBM PC Network (או בקיצור PC NET) שהוכרזה אף היא בשנת 1984 ע״י החברות IBM ו-Sytek. בהמשך הופעלה מערכת PC LAN על הרשת הפופולרית והתקנית של יבמ שנקראה טבעת אסימון.
חב׳ 3COM קיבלה אף היא רשיון OEM, ושיווקה את מערכת ההפעלה שנקראה ״3+״.

ב. בשנת 1987 הכריזה מיקרוסופט על מערכת הפעלה חדשה לרת״מ, שנקראה LAN Manager. הכרזה זו באה במקביל לשתי הכרזות נוספות:
- הכרזת מחשבי PS/2 ע״י יבמ.
- הכרזת מערכת ההפעלה OS/2 למחשבים אלה במשותף ע״י יבמ ומיקרוסופט.

מערכת הפעלת הרשת LAN Manager הותאמה למערכת ההפעלה OS/2, ולכן לפעמים קוראים לה גם OS/2 LAN Manager. כמו במקרה הקודם, גם הפעם העדיפה חב׳ מיקרוסופט לתת רשיונות שימוש ליצרנים אחרים. גירסאות של LAN Manager (עם שינויים ושיפורים שונים) משווקים במערכות ההפעלה הבאות:

- (IBM) LAN Server
- (3COM) 3 + OPEN

- (AT&T) Stargroup
- (DEC) Pathworks
- (DCA) 10 NET

ג. הדור החדש של מוצרי הרשת של מיקרוסופט בנוי סביב התפיסה של שילוב מערכת ההפעלה של ה-PC עם יכולת עבודה מובנית ברשת. ל-Windows 95, WFW (Windows for Workgroup) ו-Windows NT Workstation יש יכולת עבודה ברשת שיוויונית (Peer-to-Peer) ללא כל תוספות. מחשב המריץ Windows NT Server משמש כשרת רשת, והלקוחות שלו יכולים להיות Windows 95, WFW, Windows NT Workstation, ואחרים.

חב' **נובל** היא השחקן הגדול הנוסף בשוק ה-NOS, עם משפחת מוצרי NetWare, הכוללת:

- NetWare Lite: גירסה רשת שיוויונית, שנועדה לרשתות קטנות (עד 25 משתמשים), רצה על DOS ותואמת ל-Windows. גירסה זו הוחלפה לאחרונה ע"י Personal NetWare המומלצת עד 50 משתמשים.
- NetWare 2.X: רשת לקוח/שרת שנועדה לרשתות קטנות ובינוניות (עד 100 משתמשים). השרת יכול להיות ייעודי או לא יעודי (כלומר, ניתן להריץ עליו יישומים). גירסה זו אינה משווקת יותר.
- NetWare 3.X: מערכת הפעלה לרשתות גדולות בעלות מאות משתמשים (כ-250), ושרת ייעודי אחד. השרת יכול לתפקד גם כנתב (Router) או שער (Gateway).
- NetWare 4.X: מערכת הפעלה לרשתות גדולות מאוד בעלות מספר שרתים, ושיפורים כגון: שירותי Directory, הקצאת זכרון מרכזית למשאבים השונים, אבטחת גישה לרשת ועוד.
- IntraNetWare: ההכרזה האחרונה במשפחת נובל, המאפשרת לשרת הרשת להיות גם שרת Intranet, והלקוחות (Clients) כוללים גם תוכנת גלישה באינטרנט (Netscape).
- IntraNetware for small businesses: גירסה מיוחדת לעסקים קטנים, הכוללת כלי ניהול פשוטים יותר, אך מוגבלת ל-25 משתמשים.

חב' **יבמ** שיתפה פעולה עם מיקרוסופט בראשית הדרך בפיתוח מערכות הפעלה, והמוצרים הראשונים שלה (LAN Server, PC LAN) היו גירסאות של מוצרים שפותחו ע"י מיקרוסופט. מערכות הפעלת הרשת הנוכחיות של יבמ מתבססות על OS/2, וכוללות גירסה משופרת של OS/2 בעלת רשת שיוויונית מובנית, וכן גירסת OS/2 WARP שגם היא כוללת תכונות רשת.

בשוק קיימות מערכות הפעלה נוספות, כגון:

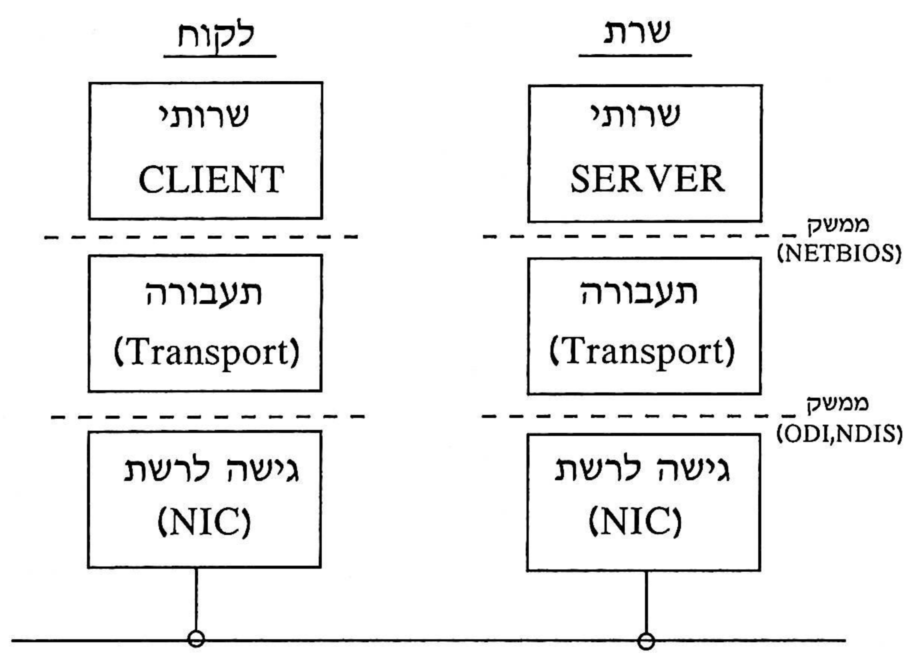
- Apple Share - מערכת ההפעלה של חב' אפל, עבור רשת מחשבי מקינטוש.
- VINES של חב' Banyan - מערכת הפעלה המבוססת על UNIX, שנועדה לרשתות גדולות, ותומכת

במגוון גדול של שרותים (כגון: Directory, אבטחת מידע, בקרת גישה לקבצים, דואר אלקטרוני ועוד).

- LANTASTIC של Artisoft - רשת שיוויונית שנועדה במקורה לארגונים קטנים. כיום תומכת במגוון שרותים ומסוגלת לגדול עד כ-500 משתמשים.
- Unix - מערכות Unix, המחוברות ברשת, מהוות דוגמה נוספת לרשת שיוויונית.

מערכות הפעלת הרשת בנויות באופן עקרוני מ-3 רבדים (ראה ציור 11.13):

- רובד הגישה לרשת - מיושם ע"י כרטיס רשת (NIC) העובד בשיטת אתרנט או טא"ס (וכולל גם Driver).
- רובד התעבורה (Transport) - הכולל פרוטוקולי תקשורת, המאפשרים עבודה בתוך הרשת (כגון: SPX/IPX של נובל, NETBEUI של יבמ), או מחוץ לרשת (כגון: TCP/IP של אינטרנט). לאחרונה מיושם TCP/IP גם בתוך הרשת.
- רובד השירותים - שבו נמצאים פרוטוקולי השרת (Server) או הלקוח (Client).



ציור 11.13 - מבנה עקרוני של לקוח/שרת

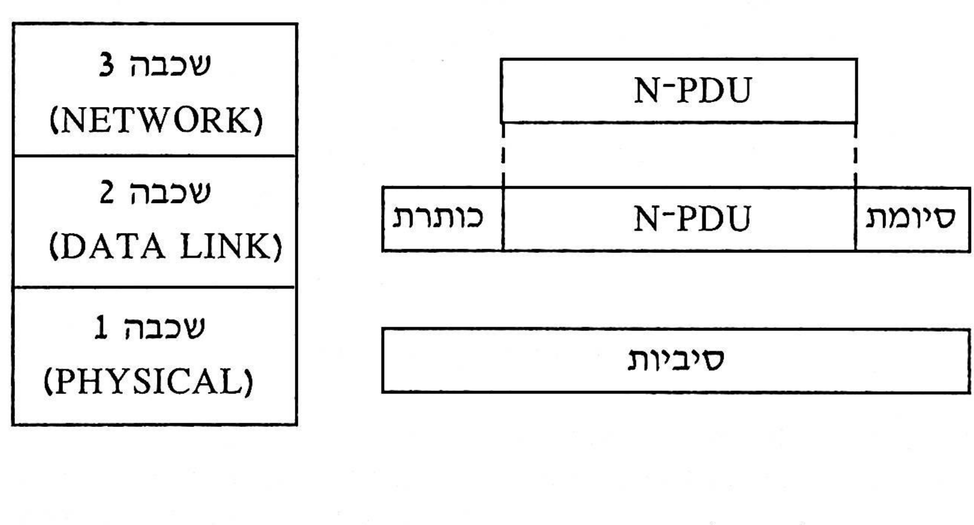
בין הרבדים נמצאים ממשקים (כגון: ODI/NDIS בין רבדי הגישה והתעבורה, NETBIOS בין התעבורה והשירותים).

בשרתים ניתן להתקין מספר כרטיסי גישה לרשת (מאותו סוג או מסוגים שונים) וכן מספר רבדי תעבורה ושירותים. השרת יכול לתמוך במספר רשתות מקומיות בו-זמנית, מסוגים שונים, ובעלות פרוטוקולי תעבורה שונים. מאחר והשרת הוא "לב" המערכת יש לבחור בפלטפורמה חזקה, בעלת ביצועים גבוהים, גיבוי, אמינות ויכולת הרחבה. מחשבי COMPAQ יכולים לשמש כדוגמה טובה לפלטפורמת שרתים.

8. רשתות LAN ומודל 7 השכבות

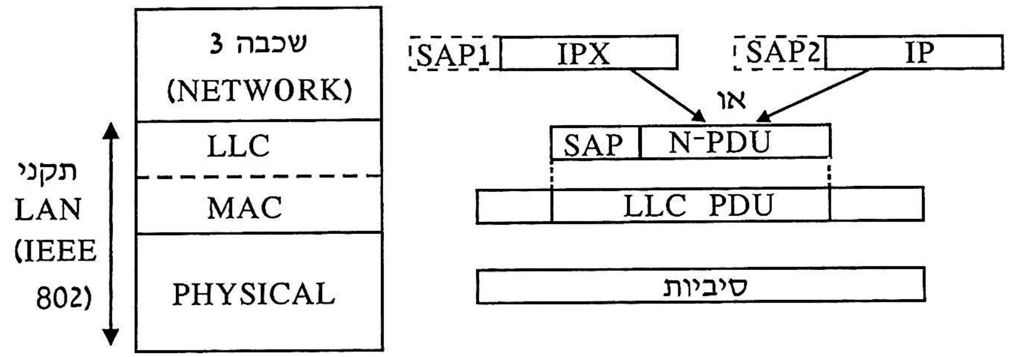
בפרק ט׳ הכרנו את מודל 7 השכבות (מודל OSI), ואת התפקידים השונים של כל שכבה. מודל זה אמור להיות מודל הייחוס למערכות תקשורת באופן כללי ולכן עליו להתאים גם לרשתות מקומיות. ארגון ה-IEEE לקח על עצמו להגדיר את תקני ה-LAN השונים ולהתאימם למודל OSI, ולצורך כך הקים בפברואר 1980 קבוצה מיוחדת שנקראה IEEE 802 (לציון השנה והחודש).

בסעיף 1 של פרק זה ראינו שרשת מקומית היא "ענן" שתפקידו להעביר **מסגרות** בין תחנות ברשת. תפקיד זה, לפי הגדרת מודל OSI, שייך לשכבה **השנייה** (ראה פרק ט׳ סעיף 3). לכן ברור שפרוטוקולי LAN שייכים לשתי השכבות הראשונות. נחזור ונתבונן בציור 9.1, ונתמקד בשלוש השכבות התחתונות (ראה ציור 11.14):



ציור 11.14: מודל OSI, שלוש שכבות תחתונות

השכבה השלישית (שכבת הרשת) מעבירה לשכבה השנייה יחידת מידע הנקראת **N-PDU**. השכבה השנייה "עוטפת" אותה בכותרת וסיומת, ומעבירה לשכבה הראשונה לצורך שידור הסיביות על תווך כלשהו (קואקס, סיב אופטי וכו'). אולם, כבר ראינו בתחילת פרק זה כי קיימות מספר שיטות גישה לרשת (אתרנט, טבעת-אסימון ועוד), ומאידך, קיימים מספר פרוטוקולים בשכבה השלישית (לדוגמה: **IPX, IP**). לכן החליטה קבוצת **IEEE 802** לחלק את השכבה השנייה לשתי תת-שכבות, כמתואר בציור 11.15.



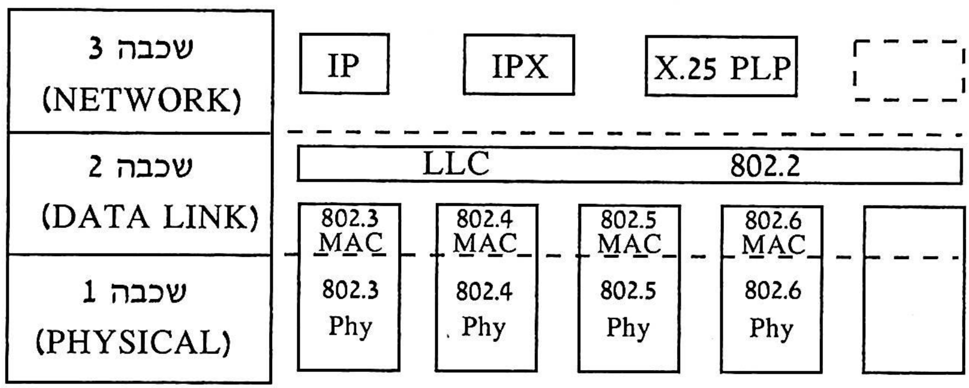
ציור 11.15: תקני IEEE 802

שכבת **LLC (Logical Link Control)** הוגדרה ע"י **IEEE 802** כשכבת ביניים ונקראה **IEEE 802.2**. היא יכולה לקבל מלמעלה פרוטוקולי רשת שונים, כגון: **IPX-PDU, IP-PDU** או באופן כללי **N-PDU**. שכבת **LLC** מוסיפה להם קידומת, שבתוכה יש הפנייה לפרוטוקול העילי. הקידומת כוללת מציין מיוחד הנקרא **SAP (Service Access Point)**, שהוא מעין "צינור" שדרכו מגיעות כל המסגרות השייכות לפרוטוקול מסויים אל שכבת **LLC**, וכמובן בכיוון ההפוך. בשכבת **LLC** מוגדרים מספר "צינורות" כאלה, ולכל אחד מהם יש מציין **SAP** שונה. ה-**LLC** יוצר יחידת מידע הנקראת **LLC-PDU**, הכוללת את ה-**N-PDU** (שיכול להיות **IP** או **IPX** לדוגמה), בתוספת קידומת הכוללת את מציין **SAP**.

יחידת **LLC-PDU** מועברת לשכבת **MAC (Media Access Control)** שהיא פרוטוקול הגישה לרשת. פרוטוקול הגישה לרשת יכול להיות אתרנט (**IEEE 802.3**), טבעת אסימון (**IEEE 802.5**), או פרוטוקול אחר. בכל מקרה, יחידת **LLC-PDU** "נעטפת" ע"י שכבת ה-**MAC** (כלומר, מוסיפים לה קידומת וסיומת), ומשודרת לרשת בצורת סיביות ע"י השכבה הראשונה.

תפקיד שכבת **LLC** הוא, איפוא, לאפשר לפרוטוקולי רשת שונים לפעול במקביל באותה תחנה. כמתואר בציור 11.15 מחשב עם כרטיס רשת אחד, מסוגל לעבוד בו-זמנית עם שני פרוטוקולים (או יותר), לדוגמה: **TCP/IP** ו-**SPX/IPX**. ה-**LLC** מקבל את הפרוטוקולים השונים באמצעות "צינורות" מוגדרים (הנקראים **SAP**), בונה מסביבם מסגרות **LLC** תקניות, ומסוגל לשדר את המסגרות בכל **LAN** תקני. בצד הקליטה שכבת **LLC** מחלצת את הפרוטוקול המסויים מתוך מסגרת **LLC**, ומעבירה אותו ליישום הדרוש באמצעות "צינור" **SAP** מתאים.

כדי להמחיש את יכולתה של שכבת LLC לפעול מעל כל שיטות הגישה ומתחת לכל פרוטוקולי הרשת המקובלים, נהוג לצייר את משפחת תקני IEEE 802 כמתואר בציור 11.16.



ציור 11.16: משפחת תקני IEEE 802

כל תקן LAN (IEEE 802.X) כולל ממשק פיזי (בשכבה הראשונה) ופרוטוקול גישה MAC (בשכבה השנייה התחתונה). ה-LLC מסוגל "לדבר" עם כל אחד מהם, או במילים אחרות, יחידת LLC-PDU יכולה להיות משודרת ע"י כל אחד מה-LAN. כלפי מעלה, פרוטוקול LLC מסוגל לחלץ את ה-N-PDU ולהעבירו ב"צינור" המתאים (SAP) ליישום הדרוש.

9. סיכום פרק י"א

בפרק זה הכרנו את המבנה והתכונות העיקריות של רשתות תקשורת מקומיות (LAN), שנועדו לעבודה בפריסה גיאוגרפיות מוגבלת ובקצבים גבוהים. בניגוד לרשתות תקשורת מרחביות (WAN) שבהן נוצר מסלול עוד לפני שלב העברת הנתונים (שיטת CO), פועלות רשתות LAN ללא מסלולים מוגדרים מראש, והנתונים משודרים במקביל לכל התחנות ברשת (שיטת CL).

רשת LAN בנוייה מהמרכיבים הבאים:

א. "ענן" הרשת, כלומר כל הציוד והחווט שמהם בנוייה הרשת. ציוד הרשת המקובל כיום הן רכזות (Hubs) התומכות במגוון ממשקים ופרוטוקולי גישה, והחווט מבוסס בעיקר על זוגות שזורים (Twisted Pairs) וסיבים אופטיים (FO), המחוברים בטופולוגייה מסויימת.

ב. בכל מחשב המחובר לרשת יש להתקין כרטיס רשת (NIC), התומך בפרוטוקול גישה מסויים. פרוטוקולי הגישה הנפוצים ביותר הם אתרנט וטא"ס (TR).

ג. מערכת ההפעלה של הרשת, יכולה לעבוד בשיטת לקוח/שרת או בשיטה שיוויונית. שתי מערכות ההפעלה הנפוצות ביותר כיום הן **NetWare** (של חב' נובל) ו-**Windows NT** (של חב' מיקרוסופט).

התקינה של רשתות **LAN** נמצאת בידי ארגון **IEEE**, שהקים לצורך כך את קבוצת **IEEE 802**. רשתות מקומיות פועלות בשתי השכבות התחתונות של מודל **OSI**: בשכבה הראשונה מוגדר ממשק פיזי מסויים, ובשכבה השנייה - פרוטוקול הגישה לרשת (אתרנט, טא"ס, ועוד), הנקרא גם שכבת **MAC**. מעל שכבת **MAC** (ועדיין בשכבה השנייה) הגדיר ה-**IEEE** שכבת ביניים הנקראת **LLC**. פרוטוקול **LLC** יכול לפעול מעל כל **LAN**, ולכלול בתוכו פרוטוקולים עיליים שונים.

פרק י"ב - אתרנט

1. הקדמה

אתרנט היא רשת תקשורת מקומית (LAN) הנפוצה והמקובלת ביותר כיום. היא פותחה בשנות ה-70 במעבדות המחקר של חב' Xerox, כשיטה לחיבור מחשבים שונים הנמצאים בסביבה קרובה. מהנדסי חב' זירוקס (וכן חברות אחרות) חזו כי צפויה ירידה במחירי החומרה, וכתוצאה מכך המסופים ה"טפשים" שהיו מקובלים באותה תקופה (כגון מסופי 3270 של יבמ) יקבלו יותר אינטליגנציה ויבצעו ישומים באופן עצמאי.

כפי שידוע לנו היום, מהנדסי זירוקס צדקו. מחירי החומרה אכן ירדו בשנות ה-80 וה-90 בצורה משמעותית, ואת מקום המחשבים הגדולים תפסו בהדרגה מחשבי מיני, ולבסוף מחשבי PC חזקים. מערכות המיחשוב הפכו ממרכזיות (כגון SNA) למבוזרות, מודולריות ומבוססות על מחשבים אישיים. הצורך בחיבור מחשבים אלה לרשת היה ברור, והחזון של אנשי זירוקס התגשם (אם כי חב' זירוקס עצמה לא השכילה להפוך זאת למנוף עסקי).

רעיון רשת אתרנט צץ לראשונה בשנת 1972 במוחו של מהנדס צעיר בשם בוב מטקאלף (Metcalfe) שעבד במעבדות המחקר של חב' זירוקס. הוא הושפע מרשת בשם ALOHA, שפותחה ע"י אוניברסיטת הוואי, ואיפשרה שידור מסגרות בין תחנות מרוחקות תוך שימוש במדיה משותפת אחת (ערוץ רדיו). בשנת 1973 הודגם הרעיון במעבדות זירוקס, בעבודה על כבל קואקסיאלי עבה בקצב של 2.94 מסל"ש. בשנת 1976 החליטו אנשי זירוקס להעלות את קצב העבודה ל-10 מסל"ש, וכך הוא נשאר עד היום. בשנת 1979 החליטו החברות אינטל ודיגיטל להצטרף לזירוקס, וכך הוקם הקונסורציום DIX (DEC, Intel, Xerox) במטרה לקדם את רשת האתרנט. הרעיון היה מאוד מוצלח, שכן כל חברה תרמה את הידע והנסיון שלה: אינטל - ברכיבים, דיגיטל - במחשבים וזירוקס - ביישומים.

מכאן החלו העניינים להתגלגל במהירות רבה:

- בשנת 1980 פירסמה שלישיית החברות DIX את המפרטים הראשונים, הידועים בשם: גירסת אתרנט DIX V 1.0.
- בשנת 1982 התפרסמה הגירסה השנייה, אתרנט DIX V 2.0, שמטרתה היתה להתגבר על הפערים בין אתרנט V1.0 לבין דרישות אנשי IEEE בפרוייקט 802 (שהחל לפעול בפברואר 1980).
- בשנת 1983 התפרסם ע"י IEEE תקן 802.3 (10 Base 5), השונה במקצת מתקן אתרנט המקורי של DIX. ארגון IEEE אינו מכיר בשם "אתרנט" (אלא רק בשם 802.3) אבל כל העולם התעשייתי מכיר, ולכן נמשיך להלן להתייחס לרשת 802.3 בשם "אתרנט".

- בשנת 1984 אושר התקן ע"י ארגון **ANSI**, ונקרא **ANSI/IEEE 802.3**. באותה שנה פרסם **IEEE** את התקן **10 Base 2**, לעבודה על כבל קואקסיאלי דק.

- בשנת 1986 אושר ע"י **IEEE** תקן **1 Base 5**, שהיה אתרנט בקצב 1 מסל"ש שפעל על חוטי טלפון (ונקרא גם **StarLAN** ע"י **AT&T** ו-**HP** שתמכו בו). הקצב האיטי של הרשת מנע את התפתחותה, ולמעשה היא "הובסה" ע"י רשת אחרת שפעלה על חוטי טלפון, אבל בקצב 10 מסל"ש, ונקראה **10 Base T**.

- בשלב האחרון פורסם התקן גם ע"י ארגון התקינה הבינ"ל **ISO** (במשותף עם **IEC**) בשנת 1989 ונקרא **ISO/IEC 8802-3**.

רשתות אתרנט החלו להתפתח, ומספר רב של יצרנים הצטרפו והכריזו על מוצרי אתרנט. טופולוגיית האתרנט המקורית (כבל קואקסיאלי עבה, או בשמו המקצועי **10 Base 5**) הוסבה לכבל קואקסיאלי דק (**10 Base 2**), ובהמשך לעבודה על זוגות שזורים (**10 Base T**) או סיבים אופטיים (תקן **FOIRL**, שהוחלף ב-**10 Base-FL**). האתרנט המשיך להתפתח גם בכוון של העלאת קצב העבודה ל-100 מסל"ש (תקן **100 Base-TX**) ואף ל-1000 מסל"ש (טכנולוגיה הנקראת גיגה-אתרנט, או **1000 Base-F**).

2. איך פועלת רשת אתרנט

כפי שכבר הוסבר בפרק יא פיסקה 6, אתרנט היא שיטת גישה לרשת, הנקראת בשפה טכנית **CSMA/CD**, שמשמעותו: **Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection**.

תהליך הגישה לרשת מורכב מ-4 שלבים:

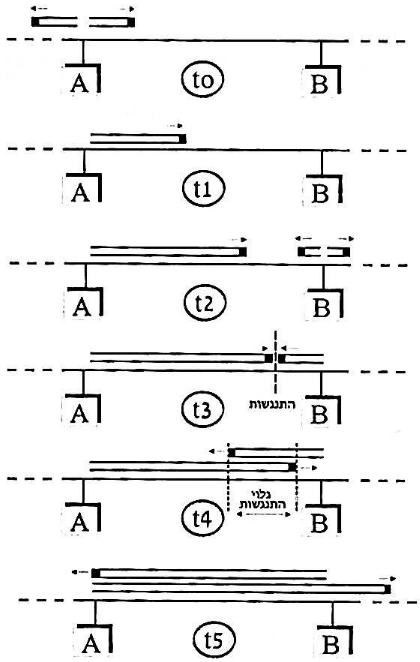
א. שלב **ההאזנה** - התחנה בודקת (**Sense**) אם קיים ברשת גל-נושא כלשהו (**Carrier**), או במילים אחרות אם מישהו משדר כרגע ברשת.

ב. התחנה **ממתינה** פרק זמן של **9.6us** (מיקרו-שניות), ואם במשך זמן זה אין שידור ברשת, התחנה מתחילה לשדר אך ממשיכה להאזין לרשת.

ג. המסגרת (**Frame**) שהתחנה משדרת מופצת לכל התחנות האחרות ברשת. ייתכן שבאותו זמן תחנה אחרת ברשת, שהמתינה אף היא **9.6us**, תרצה לשדר. במקרה כזה שתי התחנות מגלות **התנגשות** (**Collision**) ושתיהן מפסיקות לשדר.

ד. שתי התחנות תנסינה לשדר **שנית** במועד מאוחר יותר. הסיכוי שהן תשדרנה שנית בדיוק באותו הזמן מוקטן ע"י שימוש באלגוריתם מיוחד, הנקרא: אלגוריתם **Back-off**, המיושם בתוך כרטיס הרשת (**NIC**).

ציור 12.1 מדגים את ההתנגשות בין שידורי שתי תחנות **A** ו-**B**:



ציור 12.1 - התנגשות בין שידורי שתי תחנות

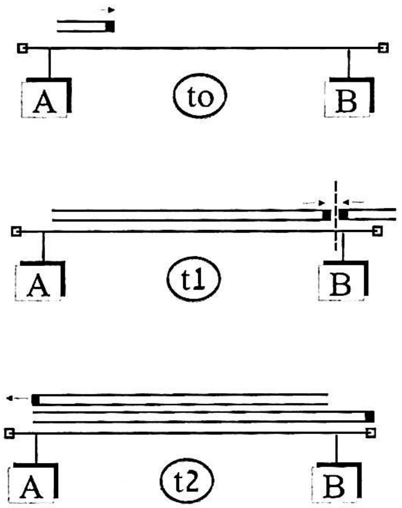
נניח שתחנה **A** החלה לשדר מסגרת בזמן **To**. המסגרת מתפשטת לאורך הכבל הקואקסיאלי לכוון ימינה ושמאלה (בציור 12.1 תואר רק הכוון ימינה לצורך הפשטות). תוך כדי התקדמות המסגרת, ממשיכה תחנה **A** לשדר. ברגע **T2** החלה גם תחנה **B** לשדר, והמסגרת המשודרת מ-**B** מתקדמת אף היא לשני הכוונים (בציור תואר רק כוון ההתקדמות שמאלה). ברגע **T3** נפגשות שתי המסגרות ואז נוצרת התנגשות. שתי המסגרות ממשיכות להתקדם, אולם רמת המתח על הכבל הקואקסיאלי עולה בכל הנקודות שבהן המסגרות מתלכדות, וכל התחנות המחוברות בקטע הזה מזהות מייד התנגשות. תחנה **A** תזהה את ההתנגשות ברגע **T5**, וכאמור בסעיף ג' לעיל תפסיק מייד לשדר.

אם זיהוי ההתנגשות (**T5** בציור 12.1) מופיע בזמן שתחנה **A** עדיין משדרת את המסגרת, כרטיס הרשת של **A** יפסיק מייד את השידור, וינסה לשדר את המסגרת במועד מאוחר יותר. אולם, אם זיהוי ההתנגשות יקרה לאחר שתחנה **A** סיימה לשדר את המסגרת, זה כבר יהיה מאוחר מדי. כרטיס הרשת מחק את המסגרת מהזכרון (**Buffer**) שלו, ודיווח ל-**PC** שהמסגרת שודרה בסדר, אולם למעשה המסגרת הלכה לאיבוד. תופעה כזו נקראת **"התנגשות מאוחרת"**, והיא גורמת לירידה בביצועי הרשת, משום שהפרוטוקולים ברמות הגבוהות צריכים לטפל בשידור מחודש של המסגרת.

כדי למנוע תופעות כאלה, הוחלט שהמסגרת הקצרה ביותר ברשת אתרנט תהיה בת 512 סיביות, או 64 בתים. לכן קיימת ברשת אתרנט המגבלה הבאה:

כאשר תחנה מסוימת משדרת, היא חייבת לזהות התנגשות לכל המאוחר עד הסיבית ה-512 של המסגרת.

מגבלה זאת משפיעה ישירות על הטופולוגיה המקסימלית של הרשת. נניח שבציור 12.2 תחנה **A** נמצאת בקצה אחד של הרשת ותחנה **B** בקצה השני של הרשת. המקרה הגבולי מבחינת התנגשות קורה כאשר תחנה **A** מתחילה לשדר, ובדיוק כאשר המסגרת עומדת להגיע לקצה הרשת מתחילה גם תחנה **B** לשדר. ההתנגשות תקרה סמוך לתחנה **B** (**T1**), ואז תתחיל המסגרת ששודרה מ-**B** להתקדם לכוון **A**, וכשתגיע ל-**A** היא תזוהה ע"י כרטיס הרשת של **A** (**T2**).



ציור 12.2 - התנגשות גבולית

הזמן שלוקח למסגרת להגיע מ-**A** ל-**B** ולחזור נקרא: "השהיית התפשטות הלוך-וחזור". למעשה מדובר בשתי מסגרות שונות (כפי שראינו בציור 12.2), אבל למרות זאת התהליך נקרא "הלוך-וחזור". אפשר לכן לנסח את מגבלת ההתנגשות בצורה הבאה:

ברשת אתרנט, השהיית התפשטות הלוך-וחזור חייבת להיות קצרה מזמן השידור של 512 סיביות.

מהו זמן השידור של 512 סיביות? רשת אתרנט עובדת בקצב של 10 מסל"ש, ולכן משך הזמן של סיבית אחת הוא **0.1us** (מיקרו-שניה) או **100 ns** (ננו-שניה). (הערה: התוצאה מתקבלת ע"י חלוקת 1 ב-10 מיליון). זמן שידור של 512 סיביות הוא לכן **51.2us**.

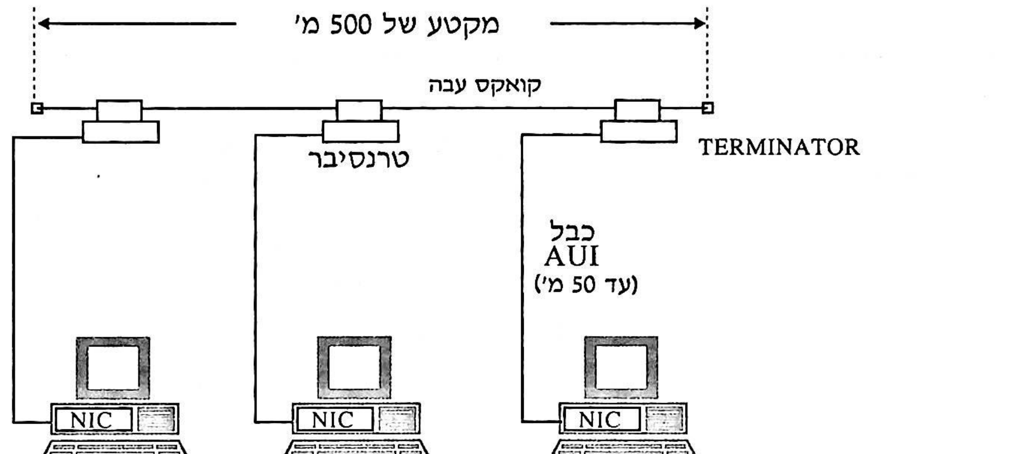
מגבלת ההתנגשות ניתנת לכן לניסוח גם באופן הבא:

ברשת אתרנט, השהיית התפשטות הלוך-וחזור חייבת להיות קצרה מ-51.2us.

המושג "מרחב התנגשות" (**Collision Domain**) של רשת אתרנט, מתייחס לאוסף כל הנקודות שאליהן יכולה להגיע מסגרת ששודרה מתחנה אחרת באותו מרחב. מאחר שבכל נקודה כזאת יכולה להימצא תחנה, הרי שיכולה לקרות שם התנגשות. ברור שבתוך מרחב התנגשות של רשת מסויימת, בין כל זוג תחנות חייבת השהיית התפשטות הלוך-חזור להיות קטנה מ-**51.2us**. (**הערה:** בהמשך הפרק נראה שלפני כל מסגרת יש שדה סינכרון בעל 64 סיביות. לכן השהיית ההתפשטות יכולה באופן תיאורטי להגיע עד 576 סיביות, או **57.6us**. אולם באופן מעשי מומלץ שהשהיית ההתפשטות תהיה קצרה יותר, ולא תעבור על **48us**, כדי להבטיח פעולה תקינה של הרשת).

3. תקן אתרנט 10Base 5

רשת אתרנט המקורית נבנתה סביב כבל קואקסיאלי עבה (Thick Coax) כמתואר בציור 12.3.

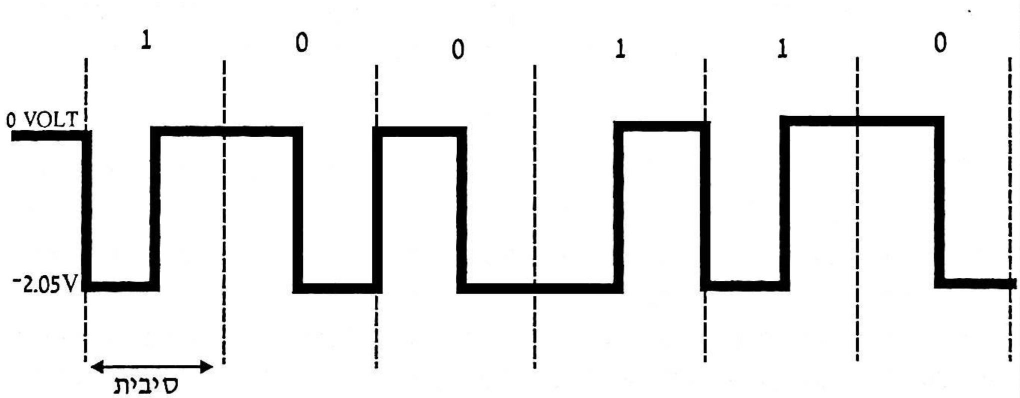


ציור 12.3 - מקטע 10Base 5

האורך הכללי של המקטע (Segment) הוגבל ל-500 מ' (מסיבות של ניחות) ולכן התקן נקרא 10Base5, שמשמעותו:

- קצב פעולה של 10 מסל"ש
- קידוד Baseband (לכל סיבית יש שתי רמות מתח ישר, כמתואר בציור 12.4)
- אורך מקטע מקסימלי של 500 מטר

האות משודר על הכבל הקואקסיאלי בשיטה הנקראת "קידוד מנ'צסטר" (Manchester encoding), שהיא אחת משיטות הקידוד Baseband. ראה ציור 12.4.

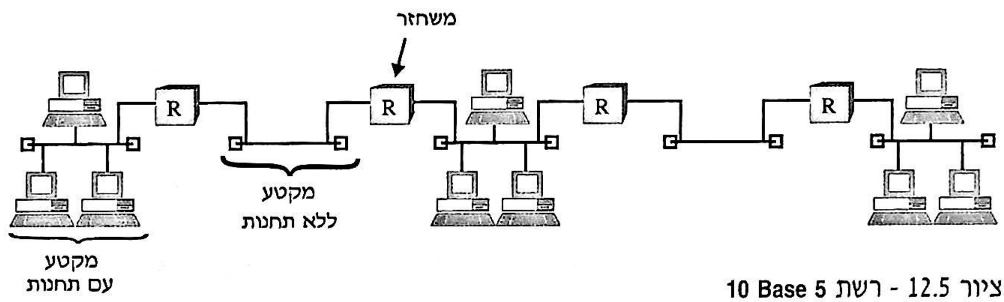


ציור 12.4 - קידוד מנצ'סטר

בשיטה זאת יש שינוי מצב באמצע כל סיבית: אם השינוי הוא כלפי מעלה - הסיבית היא "1", ואם הוא כלפי מטה - הסיבית היא "0". שינויים אלה הם למעשה דפקים (פולסים) של שעון המתלווים לאות. בשיטת מנציסטר אנו משדרים, איפוא, את הסיביות ביחד עם השעון, וזהו תנאי לשימוש בפרוטוקול סינכרוני (כפי שכבר ראינו בפרק ב פיסקה 3). משך הזמן של כל סיבית הוא **0.1us**, או **100ns**.

הטרנסיבר (שפרושו: משדר/מקלט) הוא האלמנט שמחבר את התחנה לקואקס, מעביר את האותות המשודרים מהתחנה אל הקואקס (ולהפך), ומגלה התנגשויות (כאשר רמת המתח בקו עולה). הטרנסיבר של **10Base5** כבר תואר בציור 11.8. החיבור ממנו לתחנה נעשה ע״י כבל **AUI**, בעל 8 גידים, באורך מקסימלי של 50 מטר. לכל מקטע קואקסיאלי מותר לחבר עד 100 טרנסיברים, והמרחק המינימלי ביניהם הוא 2.5 מטר.

<u>כלל 5-4-3</u>: מותר לחבר עד 5 מקטעים קואקסיאליים, בעזרת 4 משחזרים (Repeaters) לכל היותר, אבל רק ל-3 מקטעים מותר לחבר תחנות עבודה (ראה ציור 12.5).



ציור 12.5 - רשת **10 Base 5**

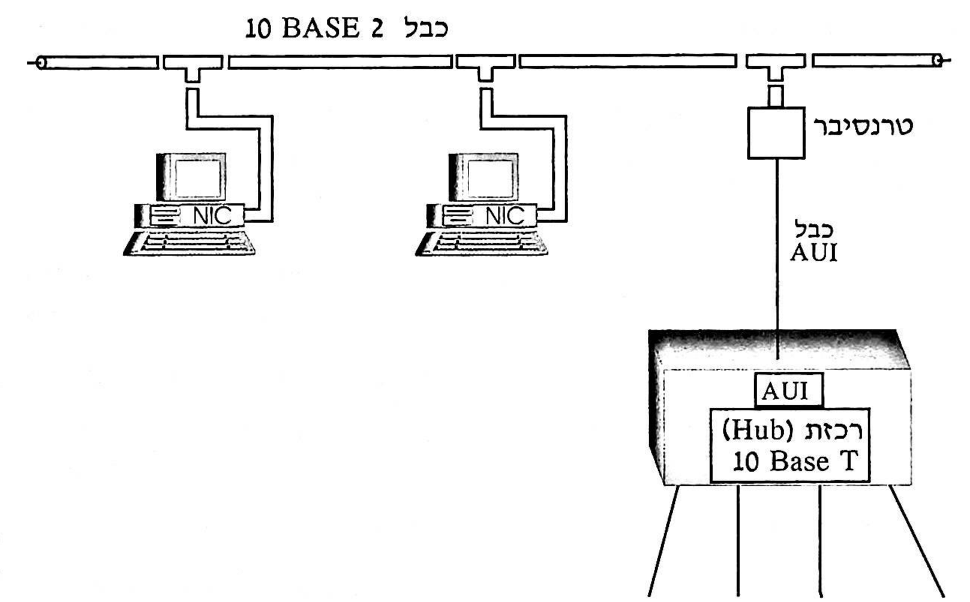
האורך המקסימלי שניתן להשיג ברשת **10Base5** הוא 2500 מ׳: 5 מקטעים של 500 מטר כל-אחד. למעשה ניתן לקבל אורך גדול יותר אם מתחשבים גם בכבלי **AUI** בין המשחזרים.

במשך הזמן המשתמשים נוכחו לדעת כי השימוש בכבל קואקסיאלי עבה הוא יקר למדי ואינו נוח. באותה תקופה החלו המחשבים האישיים להיכנס לארגונים בכמויות גדלות והולכות, והמשתמשים חיפשו שיטות יותר גמישות וזולות לחיבורם לרשת. בתגובה לכך אישר ה-**IEEE** בשנת 1985 את התקן **10Base2**.

4. תקן אתרנט 10 Base 2

תקן **10Base2** מתבסס על כבל קואקסיאלי דק **(Thin Coax)** מסוג **RG-58**, כמתואר בציור 11.9. גם בתקן זה האות משודר על הקואקס בשיטת **Baseband**, עם קידוד מנציסטר. אולם בשיטה זאת אין משתמשים בטרנסיבר, והפונקציה שלו מיושמת על כרטיס הרשת **(NIC)**. האורך הכללי של המקטע הוא 185 מ׳ (ומכאן הכינוי **10Base2**), וגם כאן חל הכלל של 5-4-3: 5 מקטעים, 4 משחזרים, ו-3 מקטעים עם תחנות עבודה. האורך הכללי של הרשת ירד ל-925 מטר, אך הנוחיות, הגמישות והמחיר הזול הפכו את הרשת למאד פופולרית, וכיום כמעט ואין משתמשים בכבל קואקסיאלי עבה.

ברשת הבנוייה כולה במרכיבי 10Base2 אין צורך בטרנסיבר, משום שהוא בנוי בתוך כרטיס הרשת. אולם לעיתים יש צורך לחבר לרשת אלמנטים בעלי ממשק AUI (כגון: רכזת 10BaseT, או Router), ואז משתמשים בטרנסיבר 10Base2, שפעולתו דומה לזאת של טרנסיבר 10Base5. הטרנסיבר מחובר בצידו האחד לכבל הקואקסיאלי ובצידו השני יש ממשק AUI המתחבר לרכזת (ראה ציור 12.6).



ציור 12.6 - רשת 10Base2

גם הכבל הקואקסיאלי הדק, עם כל יתרונותיו לעומת הכבל העבה, עדיין לא היה אופטימלי לרשתות LAN. המשתמשים החלו לשאול את עצמם מדוע לא להשתמש בכבלי טלפון, שהם זולים ונוחים לאין ערוך מהכבל הקואקסיאלי, גם לצורך העברת נתונים.
התשובה לשאלה זו ניתנה ע״י חב׳ AT&T.

5. תקן אתרנט 1 Base 5

בשנת 1984 הגישו החברות AT&T ו-HP, הצעת תקן ל-IEEE, שהתבססה על כבלי טלפון. ההצעה אושרה בשנת 1986 ע״י ה-IEEE ונקראה StarLAN, או 1 Base 5.

תכונות ה-StarLAN הם:

- קצב עבודה - 1 מסל״ש
- טופולוגיה של רכזות (Hubs)
- אורך מקטע - 250 מטר (או 500 מטר מתחנה לתחנה באותה רכזת, ומכאן ה-״5״ בשם 1Base5)
- שימוש בשני זוגות חוטים שזורים לא מסוככים (UTP)
- פונקציית הטרנסיבר משולבת בכרטיס הרשת

ה-StarLAN היתה הרשת התקנית הראשונה שהשתמשה בחוטי טלפון, אבל אורך החיים שלה היה קצר. בשנת 1987 החלו להופיע בשוק דגמים ראשונים של מערכות אתרנט שפעלו בקצב 10 מסל"ש על חוטי טלפון לא מסוככים (UTP), ובשנת 1990 התקן אושר רשמית ונקרא 10 BaseT.

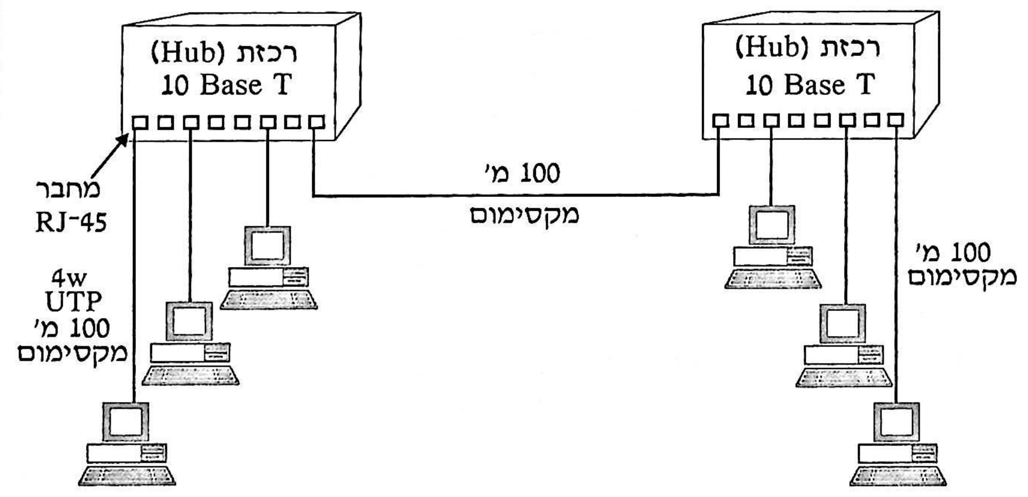
6. תקן אתרנט 10BaseT

כדי להוזיל את עלויות ההתקנה, פרסם ארגון ה-IEEE בשנת 1990 את התקן 10BaseT, המאפשר שימוש בכבלי טלפון רגילים לא-מסוככים (UTP). התקן היה דומה ל-StarLAN, אלא שקצב העבודה עלה ל-10 מסל"ש. בגלל פשטותה, נוחיותה ומחירה הזול הפכה שיטת 10BaseT לנפוצה ביותר בשוק, ומכירות רשתות אתרנט עלו עקב כך בקצב מהיר.

בשיטה זאת משתמשים ברכזת (Hub), שהיא למעשה משחזר רב-מבואות (Multiport Repeater). הרכזת מבצעת את הפונקציות הבאות:

- כל מסגרת הנכנסת לאחד המבואות, משוחזרת ומשודרת החוצה דרך כל המבואות.
- אם שתי מסגרות נכנסות באותו זמן לשני מבואות, הרכזת מזהה התנגשות ומשדרת אות התנגשות בכל המבואות.
- אם אות התנגשות מזוהה בכניסה לאחד המבואות, הוא משוחזר לכל יתר המבואות.

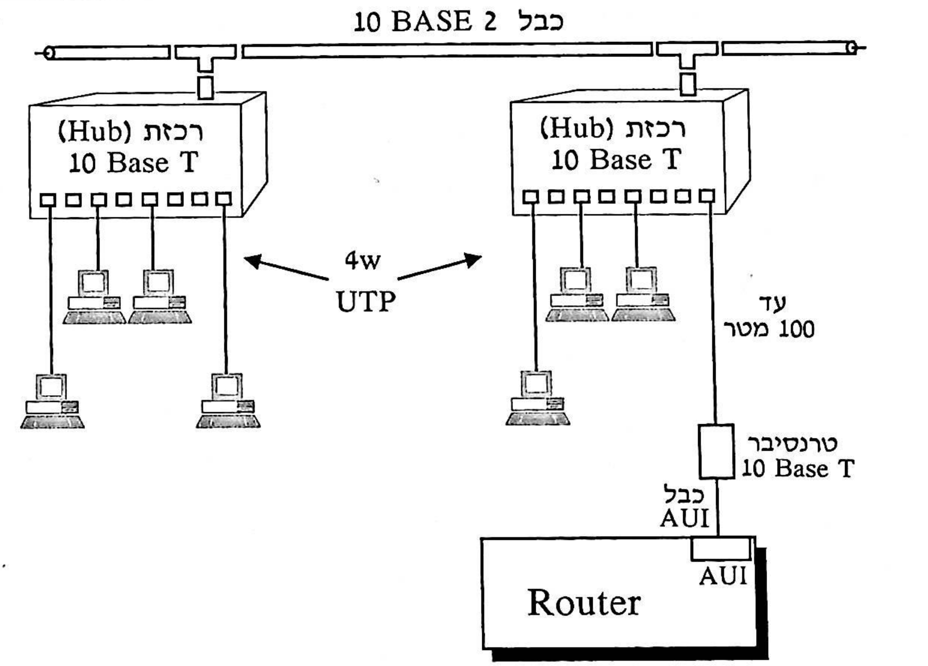
ציור 12.7 מתאר חיבור 10BaseT טיפוסי.



ציור 12.7 - רשת 10BaseT

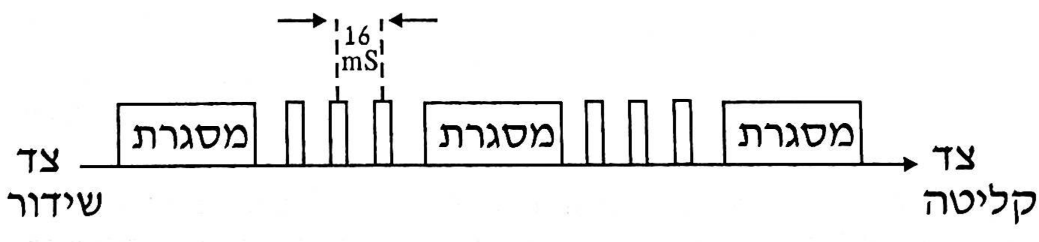
התחנות מחוברות לרכזת בעזרת שני זוגות חוטים שזורים לא מסוככים (4w UTP) מסוג "קטגוריה 3" (ראה פרק יא פיסקה 5), שאורכם המקסימלי הוא 100 מטר. זוג אחד משמש לשידור וזוג שני לקליטה, וכל זוג עובד בקידוד מנצ'סטר. המחברים בשני הצדדים של הכבל (ברכזת וב-PC) הם מסוג RJ-45, וכרטיס הרשת כבר מכיל את הטרנסיבר.

הרכזות מופיעות בשוק בגדלים שונים, מ-4 ועד 32 מבואות, והנפוצות ביותר הן בעלות 8 או 16 מבואות. הרכזות מחוברות ביניהן בעזרת כבל **4w UTP** דומה, למרחק עד 100 מטר. קיימות גם רכזות הכוללות ממשק קואקסיאלי **(BNC)**, **AUI** או סיב-אופטי, בנוסף למבואות **10BaseT**, כמתואר בציור 12.8. אלמנטים בעלי ממשק **AUI** (נתבים לדוגמה) מתחברים לרשת בעזרת טרנסיבר **10BaseT**, בדיוק כפי שראינו ברשת **10Base2**. הטרנסיבר מתרגם את ממשק **10BaseT** לממשק **AUI**, ובעזרת כבל **AUI** (באורך מקסימלי של 50 מטר) מתחבר לממשק **AUI** בנתב. הטרנסיבר מקבל את הזנת המתח שלו מהנתב באמצעות זוג חוטים בכבל **AUI**.



ציור 12.8 - רשת קואקס/10BaseT

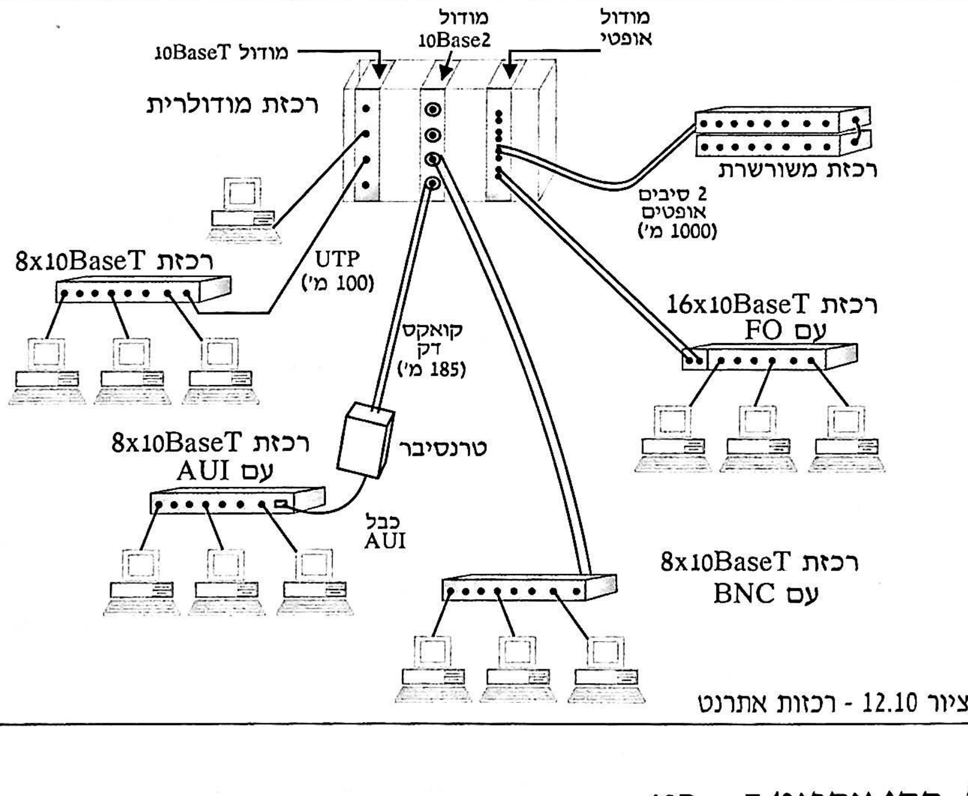
תקן **10BaseT** כולל אפשרות לבדיקת תקינות הכבל בין הרכזת לבין ה-**PC**. כזכור לנו, פרוטוקול אתרנט מחייב מרווח של לפחות **9.6us** בין מסגרת למסגרת, אבל במציאות המרווחים הם גדולים יותר. פולסים מיוחדים של בדיקה (הנקראים **Link Integrity**) נשלחים כל **16 ± 8ms** לערך בתוך המרווחים הבלתי מנוצלים, כמתואר בציור 12.9.



ציור 12.9 - פולסי הבדיקה של **10BaseT**

הצד הקולט בוחן את קצב הופעת פולסי הבדיקה, ויכול להחליט האם זוג חוטי הקליטה תקין או לא. לדוגמה, אם במשך 100ms לא נקלטו פולסים, יכול המבוא הקולט להחליט כי הקשר נותק ולהדליק נורית אזהרה. שים-לב שהבדיקה מתבצעת רק על זוג החוטים בקליטה, אבל זוג חוטי השידור יכול לעבוד בסדר. אם שני זוגות החוטים של אפיק 10BaseT נותקו, הדבר יתגלה בשני הצדדים במבואות הקליטה. אין אפשרות לדעת בצד אחד על ניתוק כבל, אלא אם כן יש מערכת בקרה שכל המבואות מדווחים לה, והיא מציגה את התמונה הכוללת.

רכזות 10BaseT מופיעות בדרך-כלל כרכזות עצמאיות בגדלים שונים, או כרכזות משורשרות (Stackable) שבהן ערוץ (Bus) מהיר מיוחד מחבר ביניהן ויוצר רכזת לוגית גדולה אחת. היתרון של רכזות משורשרות הוא האפשרות להתחיל עם מספר קטן של תחנות באתר מסויים, ולגדול עם הזמן. קיימות גם רכזות מודולריות, שבהן כל מודול מכיל מספר ממשקים מסוג מסויים. ע"י הוספת (או החלפת) מודולים ניתן להגדיל (או לשנות) את אוכלוסיית המשתמשים. רכזות מודולריות מותקנות בדרך-כלל במרכז הארגון, ורכזות עצמאיות מותקנות בסניפים או באתרי-קצה. בציור 12.10 מובאות דוגמאות שונות של רכזות.



ציור 12.10 - רכזות אתרנט

7. תקן אתרנט 10BaseF

בציור 12.5 ראינו כיצד המשחזרים (Repeaters) מאפשרים להגדיל את הטווח של רשת אתרנט. משחזרי קואקס יכולים לעבוד עד טווח של 500 מטר לכבל עבה, או 185 מטר לכבל דק. לעיתים צריך להגדיל את הטווח מעבר לכך, ואז יש להשתמש בסיבים אופטיים.

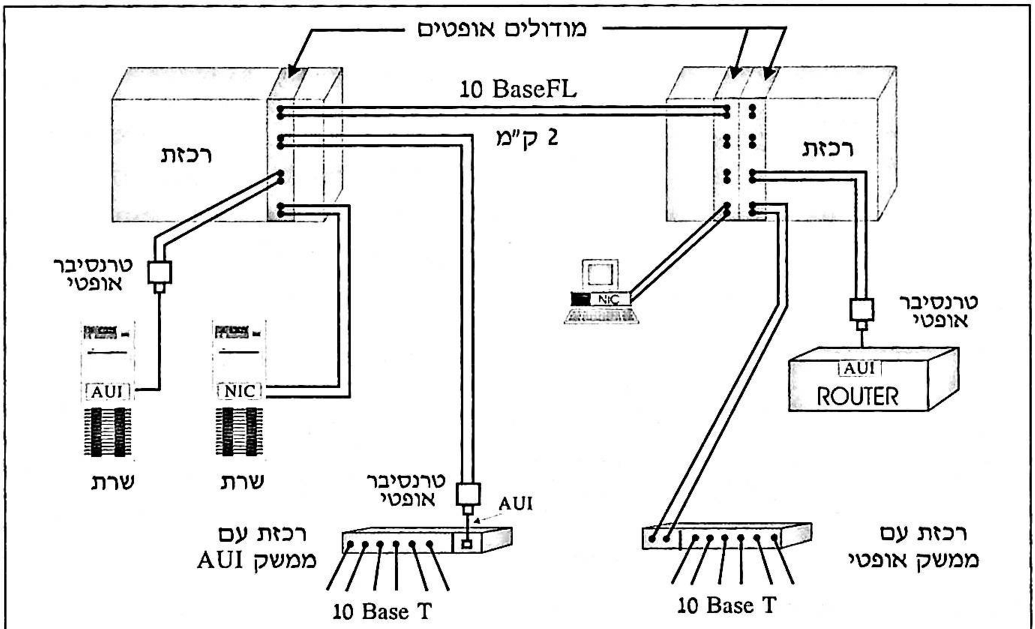
תקן FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) היה התקן הראשון להפעלת אתרנט על סיבים אופטיים שאושר ע"י ה-IEEE. ייעודו היה לחבר בין משחזרים ולהאריך את הטווח ביניהם עד 1000 מטר, כמובן תוך עמידה במגבלת ההתפשטות (שהוסברה בסעיף 2 לעיל).

תקן FOIRL הוחלף במועד מאוחר יותר ע"י IEEE בתקן 10BaseF, המורכב למעשה מ-3 תקנים:

- **10BaseFL** - נועד לחבר זוג משחזרים (L=Link) עד טווח של 2000 מטר, ולמעשה הוא התחליף הישיר של תקן FOIRL. הוא תואם אחורה ל-FOIRL, אבל במקרה כזה הטווח יהיה 1000 מטר בלבד (הכוונה שמשחזר FOIRL בצד אחד מחובר למשחזר 10BaseFL בצד השני).
- **10BaseFB** - מיועד ליישומי תשתית (B=Backbone), שבהם נדרש לחבר כמה משחזרים, לטווח מקסימלי של 2000 מטר. פונקצית הטרנסיבר כלולה במשחזר, ואין ממשק AUI. השידור מבוצע בשיטה סינכרונית, כלומר המידע משודר ברציפות (כולל בזמן ההפסקות בין המסגרות).
- **10BaseFP** - מיועד לתצורת כוכב פסיבי (P=Passive), כלומר רכזת אופטית ללא מתח חיצוני, ולמרחק עד 500 מטר לתחנה (או 1000 מטר מתחנה לתחנה). תקן זה נפוץ פחות משני התקנים הקודמים.

כל תקני 10BaseF משתמשים ב-2 סיבים לכל חיבור, סיב לשידור וסיב לקליטה. הסיב הנפוץ הוא מסוג Multimode, בקוטר 62.5/125um, והמחברים האופטיים הם מסוג ST.

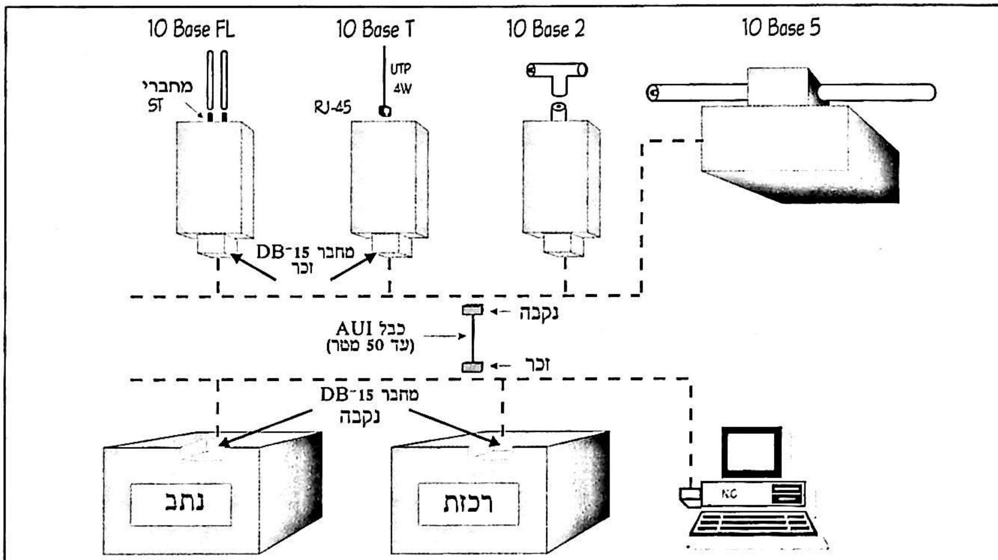
ציור 12.11 מתאר יישום של רשת עם סיבים אופטיים. שים-לב שניתן להתחבר לאלמנטים השונים ישירות עם ממשק אופטי (קיימים גם כרטיסי NIC ל-PC בעלי ממשק אופטי). לחילופין אפשר להתחבר באמצעות טרנסיבר אופטי וממשק AUI לאלמנטים שאין להם ממשק אופטי מובנה.



ציור 12.11 - רשת מבוססת סיבים אופטיים

8. טרנסיברים

הטרנסיבר מבצע את החיבור הפיזי והחשמלי לרשת אתרנט. מאחר וקיימים כמה תקנים שונים לרשתות אתרנט, קיימים כמה סוגים של טרנסיברים, כמתואר בציור 12.12 .

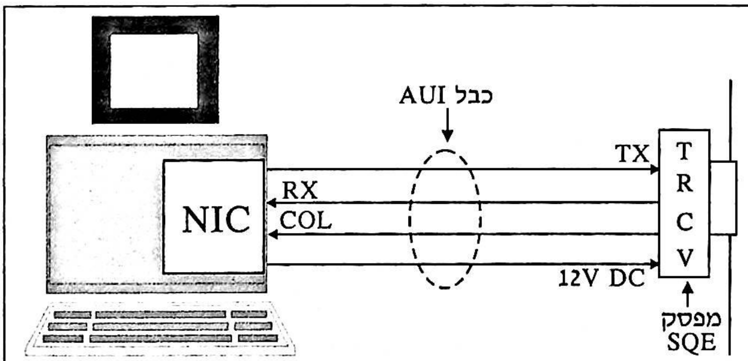


ציור 12.12 - סוגי טרנסיברים

לכל הטרנסיברים יש ממשק **AUI** זהה (מחבר 15 פין זכר) והממשק השני תלוי בסוג הרשת. הטרנסיבר יכול להתחבר ישירות למחבר **AUI** נקבה בכרטיס הרשת (**NIC**) של ה-**PC**, וקיימים גם מחברי **AUI** עם אפשרות לנעילה עצמית. במקרים אחרים משתמשים בכבל **AUI** למרחק עד 50 מטר.

כבל **AUI** מכיל 4 זוגות חוטים (ראה ציור 12.13):

- זוג "שידור" (**TX**), בכיוון מה-**PC** לטרנסיבר
- זוג "קליטה" (**RX**), בכוון מהטרנסיבר ל-**PC**
- זוג "התנגשות" (**COL**), בכוון מהטרנסיבר ל-**PC**
- זוג אספקת מתח (**12V DC**), מה-**PC** לטרנסיבר

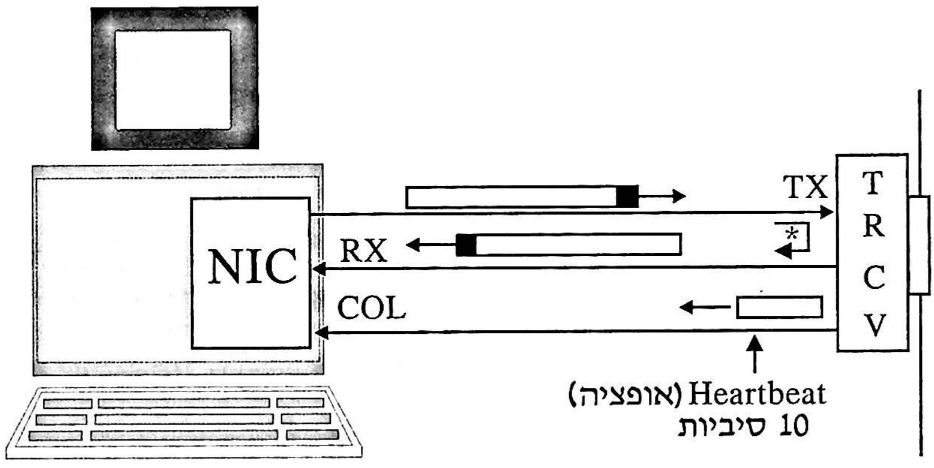


ציור 12.13: מבנה כבל **AUI**

הטרנסיבר מכיל גם מפסק SQE שפעולתו מוסברת להלן:

- כרטיס הרשת שולח מסגרת בזוג חוטי TX.
- הטרנסיבר משדר את המסגרת לרשת, וכן משדר אותה בחזרה בזוג חוטי RX (עם השהייה מסויימת).
- לאחר סיום השידור, הטרנסיבר משדר בזוג חוטי COL אות מיוחד הנקרא SQE, או Heartbeat, המכיל 10 סיביות "1". אות זה מציין שהטרנסיבר מתפקד בסדר. שידור האות SQE הוא אופציונלי, וניתן לבטלו ע"י מפסק מיוחד (מפסק SQE) המותקן על הטרנסיבר.

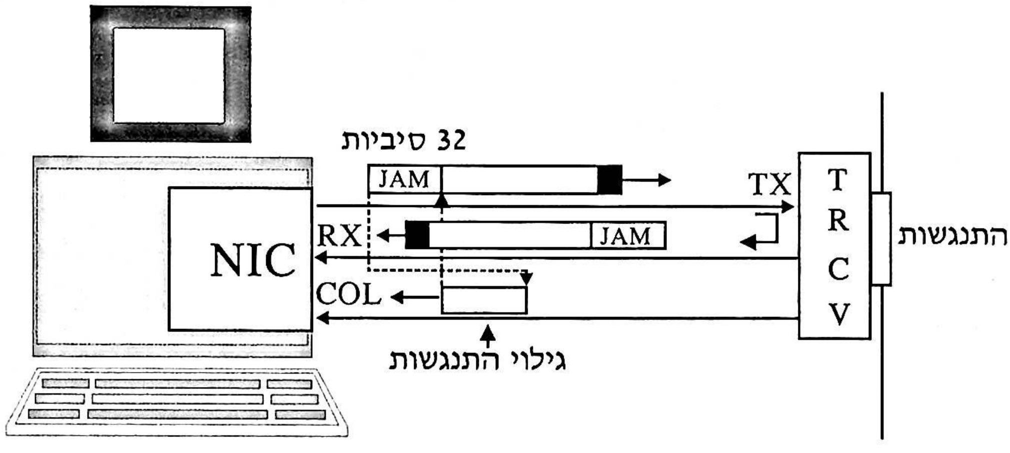
ציור 12.14 מתאר את פעולת הטרנסיבר כאשר משודרת מסגרת ללא התנגשות.



ציור 12.14 - פעולת הטרנסיבר ללא התנגשות

כאשר יש מצב של התנגשות, הטרנסיבר מבצע פונקציות אחרות (המתוארות בציור 12.15):

- כרטיס הרשת מתחיל לשלוח מסגרת לטרנסיבר (TX) והטרנסיבר מחזיר את המסגרת (RX).
- ברגע מסויים הטרנסיבר מזהה התנגשות ומתחיל מייד לשדר אות בזוג חוטי "התנגשות" (COL).
- כרטיס הרשת מפענח את אות ההתנגשות, מפסיק את שידור המסגרת ומשדר אות מיוחד הנקרא JAM (חסימה) המכיל 32 סיביות. תפקיד האות הזה הוא להבטיח שכל התחנות קיבלו הודעה על ההתנגשות, גם אם ההתנגשות קרתה זמן קצר לאחר תחילת שידור המסגרת.
- אות ה-JAM מוחזר ע"י הטרנסיבר בחוטי RX.
- עם הפסקת שידור ה-JAM ע"י כרטיס הרשת, מפסיק הטרנסיבר לשדר אות "התנגשות".

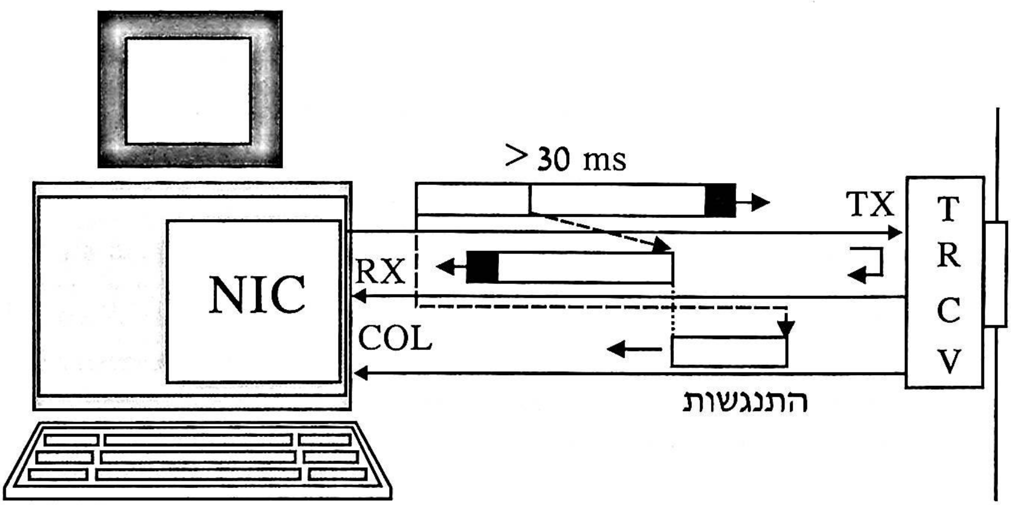


ציור 12.15 - פעולת הטרנסיבר עם התנגשות

פונקציה נוספת שהטרנסיבר מבצע היא חסימת תחנה "מקשקשת" (Jabber). זוהי תחנה המשדרת מסגרת באורך העולה על המותר, חוסמת ע"י כך את הרשת ואינה מאפשרת לתחנות אחרות לשדר.

תהליך החסימה הוא כדלקמן (ראה ציור 12.16):

- כאשר הטרנסיבר מזהה שידור באורך של יותר מ-30ms הוא מפסיק לשדר לרשת, מפסיק לשדר חזרה ב-RX, ומתחיל לשדר אות בזוג חוטי COL.
- כרטיס הרשת מזהה את האות ומפסיק את השידור.
- הטרנסיבר מפסיק את שידור ה-COL.



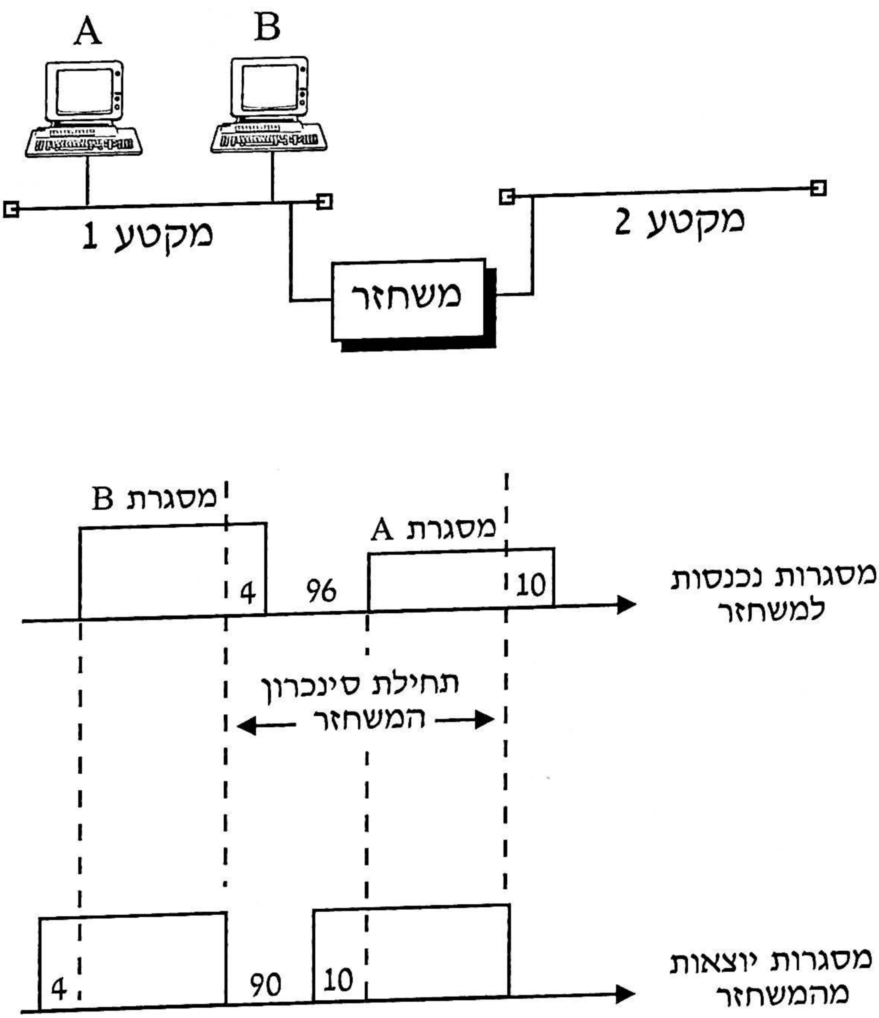
ציור 12.16 - חסימת תחנה מקשקשת

9. משחזרים (Repeaters)

אות חשמלי המתפשט לאורך כבל או חוט, נחלש בעצמתו ככל שהמרחק גדל והאמפליטודה שלו נעשית קטנה יותר ויותר. תופעה זו נקראת "ניחות" (Attenuation), והיא מלווה בדרך-כלל גם בעוות צורת האות. סיבית מלבנית ששודרה מקצה אחד של הכבל, מגיעה לקצהו השני כשצורתה רחוקה מלהיות מלבנית וקרובה יותר לסינוס. תפקיד המשחזר הוא להגביר את האות לעצמתו המקורית, לשפר את צורתו, לנקות אותו מרעשים ולשחזר גם את השעון שלו. כפי שכבר ראינו בציור 12.4, האות משודר בקדוד מנצ'סטר, שבו השעון בנוי בתוך האות. לאחר התקדמות לאורך הכבל צורת האות משתנה והוא מקבל עוות הנקרא Jitter, הגורם לכך שקשה לקבוע בדיוק את זמני השעון. המשחזר, כאמור, מנקה את האות מה-Jitter, ומשדר אותו "כמו חדש".

פונקציה נוספת שעל המשחזר לבצע היא שחזור סיביות הסינכרון המשודרות לפני המסגרת, הנקראות (Preamble). תפקיד סיביות אלה יוסבר בסעיף 11, ובשלב זה נאמר כי הן גורמות לסינכרון בין השעון הפנימי של המשחזר לבין השעון המלווה את המסגרת הנקלטת. תהליך הסינכרון נמשך זמן מה, ובפרק זמן זה הולכות לאיבוד כמה סיביות סינכרון.

תפקיד המשחזר הוא לשדר לצד השני מסגרת תקנית, ולכן הוא משלים את כל סיביות הסינכרון החסרות. ייתכן מצב שבו מגיעה למשחזר מסגרת מתחנה רחוקה, שסיביות הסינכרון שלה "נחלשו" (כלומר עברו ניחות גבוה), למשחזר לוקח הרבה זמן להסתנכרן, ולכן עליו לבנות מחדש כמות גדולה יחסית של סיביות (נניח לדוגמה 10 סיביות). מייד לאחריה, בהפרש זמן מינימלי מותר של 9.6us (ראה סעיף 2 בפרק זה) משדרת תחנה קרובה למשחזר, שהסיביות שלה "במצב טוב", כי עברו מרחק קצר. המשחזר יסתנכרן למסגרת הזאת תוך איבוד מספר קטן של סיביות (נניח 4 סיביות), יבנה מחדש את המסגרת עם כל סיביות הסינכרון החסרות וישלח לצד השני מסגרת תקינה. הפרש הזמן בין המסגרות, שהיה קודם 9.6us (או 96 סיביות, שכן כל סיבית נמשכת 0.1us) יתקצר ב-6 סיביות (ההפרש בין 10 לבין 4), ויהיה כעת רק 90 סיביות. תופעה זאת נקראת: "קיצור IPG" (Inter-Packet Gap), והיא הסיבה לכך שחייבים לשמור על מרווחים של 96 סיביות בשידור מסגרות. מרווח זה מתקצר ככל שהמסגרת עוברת יותר משחזרים, ומכאן באה המגבלה של 4 משחזרים מקצה לקצה.



ציור 12.17 - קיצור IPG

המשחזרים מעבירים את כל המסגרות מקצה לקצה, וכן את המסגרות שהתנגשו, את אותות החסימה (JAM) וכל תנועה אחרת ברשת. המשחזרים פועלים בשכבה הראשונה (השכבה הפיזית) של מודל ה-OSI, ופרט למה שנאמר לעיל אינם מבצעים כל פונקציה לוגית ומעבירים את כל המסגרות בצורה "שקופה". לכן המשחזרים נמצאים בתוך "מרחב ההתנגשות" של רשת אתרנט, כפי שהגדרנו בסעיף 2 לעיל:

משחזר נמצא בתוך "מרחב ההתנגשות" של המקטעים שאליהם הוא מחובר.

משחזר יכול להיות בעל 2 מבואות, או בעל מספר רב של מבואות. הרכזת (Hub) שהכרנו בסעיף 6 היא בעצם משחזר רב-מבואות עצמאי. קיימים גם משחזרים מודולריים, שבהם כל מודול תומך בממשק אחר.

10. תכנון רשתות אתרנט

הטבלה הבאה מסכמת את המאפיינים העיקריים של תקני אתרנט השונים.

מאפיין / תקן	מדיה	אורך מקטע מקסימלי	אורך רשת כללי	כמות חיבורים למקטע	טרנסיבר
10 Base 5	כבל קואקס עבה (50 אום)	500 מי	2500 מי	100	חיצוני מתחבר ל-PC עם כבל AUI (50 מי)
10 Base 2	כבל קואקס דק (50 אום)	185 מי	925 מי	30	פנימי על ה-NIC מחבר BNC
10 Base T	4W UTP קטגוריות 3,4,5	100 מי	500 מי (UTP בלבד)	2	פנימי על ה-NIC מחבר RJ-45
FOIRL	כבל אופטי	1000 מי	2500 מי (אורך סיב כללי)	2	פנימי או חיצוני
10 Base FL	כבל אופטי	2000 מי	2500 מי (אורך סיב כללי)	2	פנימי או חיצוני
10 Base FB	כבל אופטי	2000 מי	2740 מי (אורך סיב כללי)	2	פנימי

בעת תכנון רשתות אתרנט המורכבות מכמה מדיות (כגון רשת **10 Base T** עם כמה מקטעים אופטיים) יש להקפיד על קיום שלושת התנאים הבאים בעת ובעונה אחת, המגדירים "מרחב התנגשות" אחד:

א. מספר התחנות ברשת אינו עולה על 1024 (משחזרים אינם נספרים).

ב. השהיית ההתפשטות הלוך וחזור ברשת אינה עולה על 576 סיביות (תאורטי), או 480 סיביות (תכנון שמרני).

ג. "התכווצות" המרווח בין המסגרות (קיצור IPG) אינה עולה על 49 סיביות.

אם ברשת מסויימת אחד התנאים אינו מתקיים, יש לפצל את הרשת לשתיים (או יותר) תת-רשתות. ע"י כך מרחב ההתנגשות התפצל אף הוא לכמה מרחבים קטנים יותר, שכל אחד מהם מקיים את שלושת התנאים בבת-אחת. פיצול הרשת נעשה ע"י אלמנטים המבודדים בין מרחבי התנגשות ואינם מעבירים

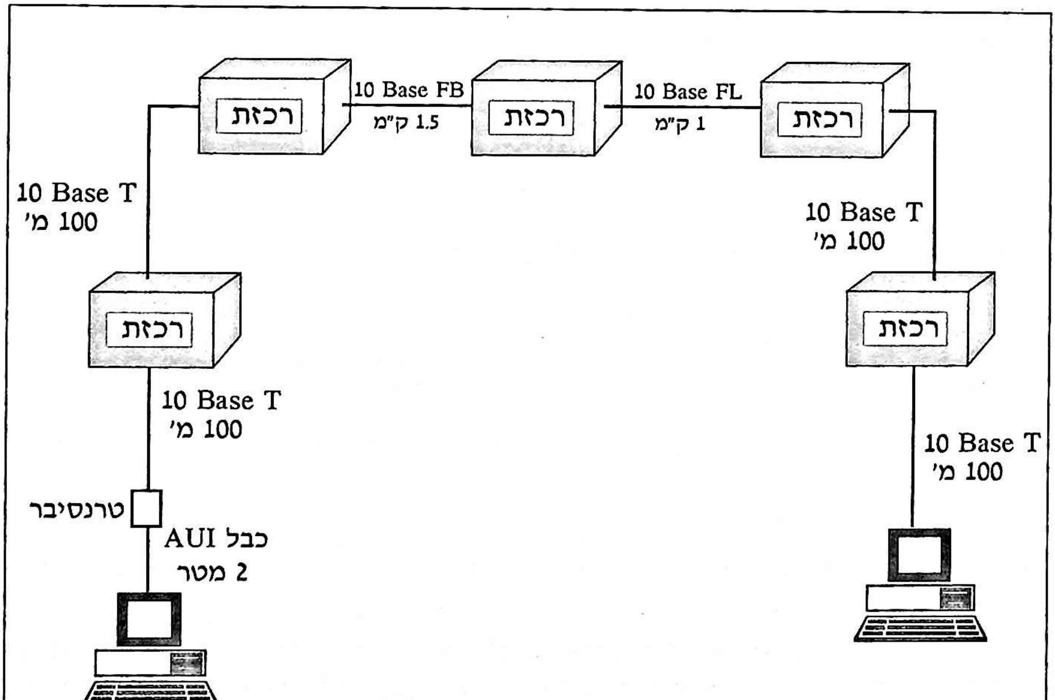
את תוצרי ההתנגשות. כפי שנראה מאוחר יותר אלמנטים כאלה יכולים להיות: גשרים, נתבים או מתגים (Switches).

שלושת התנאים שצויינו לעיל נובעים מתקני אתרנט, ומטרתם לאפשר עבודה תקינה של הרשת בתוך מרחב ההתנגשות. אם מתכננים רשת המורכבת ממקטעי 10 Base T ומקטעים אופטיים בלבד, ונשמעים לשלושת התנאים לעיל, ניתן לקבל רשת הכוללת **5 משחזרים** (זכור כי אם הרשת כוללת גם מקטעים קואקסיאליים, יש לחזור למגבלה המקורית של 4 משחזרים).

לגבי רשתות משולבות 10 Base T / מקטעים אופטיים, שבהן מותרים 5 משחזרים (רשתות כאלה נפוצות מאוד כיום), חלים כללי התכנון הבאים:

- כל המקטעים חייבים להיות 10 Base T או אופטיים (10BaseF או FOIRL).
- המקטעים הקיצוניים (10 Base T או אופטיים) חייבים להיות מוגבלים ל-100 מ'.
- האורך הכולל של כל המקטעים האופטיים יהיה 2500 מטר מקסימום (או 2740 מטר אם כולם הם מסוג 10 Base FB).
- כבלי AUI מוגבלים ל-2 מטר.
- לא יותר מ- 1024 תחנות מחוברות לרשת.

דוגמה של רשת כזאת מתוארת בציור 12.18.

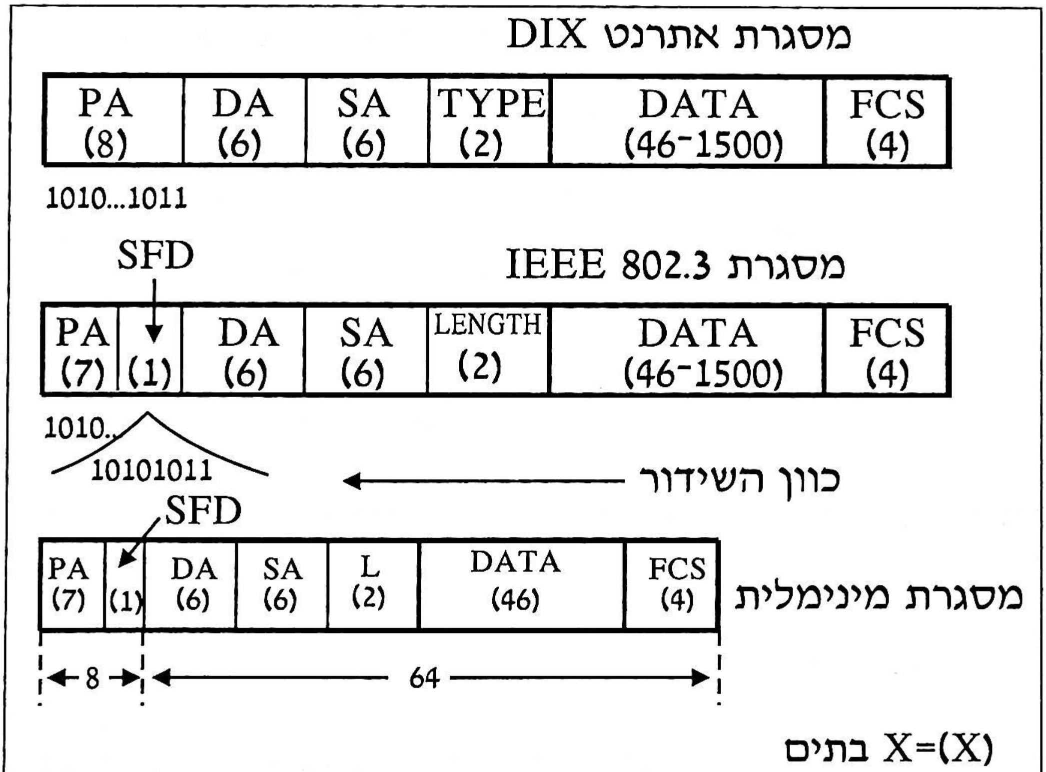


ציור 12.18 : רשת 10 Base T/סיבים

הרשת המתוארת בציור 12.18 כוללת 5 משחזרים, 4 מקטעים בין-משחזרים (שניים מתוכם אופטיים באורך כולל של 2.5 ק״מ כנדרש), ושני המקטעים הקיצוניים הם באורך 100 מ׳ כל-אחד. התקן **IEEE 802.3** כולל טבלאות לחישוב השהיית ההתפשטות והקטנת המרווח בין המסגרות לגבי כל אחד מסוגי המקטעים. ע״י שימוש בטבלאות שבתקן מחשבים את ההשהייה הכוללת (הלוך וחזור) ואת הקטנת המרווח הכוללת מקצה לקצה, ובודקים את התאמתם לדרישות התקן.

11. מבנה מסגרת אתרנט

כפי שראינו בתחילת הפרק, מפרטי רשת האתרנט המקורית פורסמו לראשונה ע״י שלישית החברות **DIX**, ולאחר מכן שונו במקצת ע״י ארגון התקינה **IEEE**. ציור 12.19 מתאר את מבנה המסגרת של **DIX**, וכן את מבנה המסגרת התקנית **IEEE 802.3** (המקובלת כיום בשוק).



ציור 12.19: מבנה מסגרת אתרנט

המסגרות של אתרנט ו-**IEEE 802.3** מתחילות בשידור אות סינכרון מיוחד הנקרא **Preamble (PA)**, שהוא בעצם גל מלבני בקידוד מנציסטר, שתפקידו לעורר ולסנכרן את המקלט. מאחר והמסגרת מתקדמת ומתפשטת בכל ״מרחב ההתנגשות״ של רשת האתרנט, הרי כל המקלטים שהיא עוברת בדרך יתעוררו ויקלטו את המסגרת. שדה ה-**PA** מורכב מ-1 ו-0 מתחלפים ובסופם מופיע הצירוף 11 (1010......101011), המציין שכעת מתחיל שלב העברת הנתונים. למעשה שדות ה-**PA** של מסגרות **DIX** ו-802.3 הם זהים,

אלא שהטרמינולוגיה שונה: במסגרת **DIX** יש 8 בתים הכוללים 1 ו-0 מתחלפים, ולבסוף יש צרוף 11 (בבית השמיני). במסגרת 802.3 יש שדה **PA**, הכולל 7 בתים של 1 ו-0 מתחלפים, ולאחריו שדה **SFD (Start of Frame Delimiter)** המכיל את הצרוף 10101011.

מקלט או משחזר הקולט את אות הסינכרון, מתחיל להסתנכרן, אבל התהליך יכול להימשך מספר סיביות. כבר ראינו בפיסקה הקודמת כי על המשחזר לבנות מחדש את אות הסינכרון (שדה ה-**PA**) וזאת הסיבה לקיצור המרווחים בין המסגרות. הנקודה המדוייקת שבה המשחזר "מתעורר" תלויה בעוצמת האות הנקלט: ככל שהעוצמה נמוכה יותר - ייקח יותר זמן (יותר סיביות סינכרון).

עם גמר קליטת אות הסינכרון (שאורכו 8 בתים) מתחיל שלב העברת המידע. תחילה משודרות שתי כתובות:

- כתובת תחנת היעד - **DA (Destination Address)**
- כתובת תחנת המקור - **SA (Source Address)**

כתובות אלה הן באורך 6 בתים (48 סיביות), והן כתובות פיזיות הצרובות בתוך כרטיסי רשת (**NIC**). כל יצרן של כרטיסי רשת פונה לארגון **IEEE** ומקבל "בלוק" של מספרים. היצרן מקבל "קידומת" בת 3 בתים, ואת 3 הבתים הנותרים הוא מוסיף בהתאם לסדרת הייצור, ספרור שונה לכל כרטיס. בצורה כזאת מובטח שאין כרטיסים בעלי כתובת פיזית זהה. לדוגמה, הקידומת של כרטיסי **HP** היא: 08-00-09. כדי לקבל את הקידומת בסיביות עליך לתרגם כל בית בנפרד לסיביות ואז הקידומת היא: 1001 0000 0000 0000 1000 0000 (24 סיביות בסה"כ). אם הסיבית הראשונה בכתובת היעד (**DA**) היא "1", פירוש הדבר שהמסגרת הזאת משודרת **לקבוצה מסויימת** של תחנות יעד, ולא לתחנה בודדת (תהליך הנקרא **Multicast**).

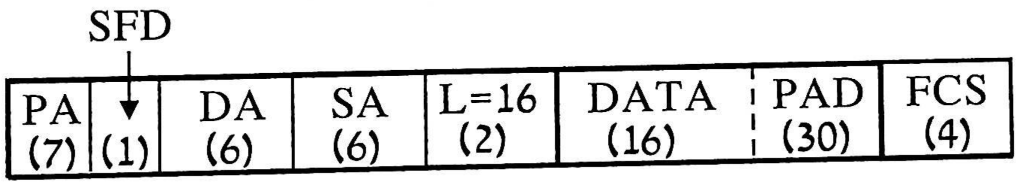
כאשר המסגרת עוברת מתחנה לתחנה ברשת, נקלטת תחילה כתובת היעד (**DA**). כל תחנה משווה את ה-**DA** עם הכתובת העצמית שלה, ואם הכתובות זהות - המסגרת מועברת לתחנה. אם הכתובות אינן זהות - המסגרת מושמטת ע"י התחנה וממשיכה הלאה.

הערה: צורת עבודה כזאת, שבה בכל נקודה ברשת אפשר (באופן תאורטי ומעשי) לקלוט את כל המסגרות שחולפות ברשת, עשויה ליצור בעיות של אבטחת מידע. לכן, בהמשך התפתחות רשתות אתרנט, נמצאו פתרונות שונים להגנה על הרשת.

עד כה היו השדות של מסגרות **DIX** ו-802.3 זהים (ראה שוב ציור 12.19). אולם בשדה הבא יש שוני בין שני סוגי המסגרות:

- במסגרת **DIX** מופיע שדה **Type** באורך 2 בתים, (הנקרא לפעמים גם **Ethertype**). שדה זה מציין את סוג הפרוטוקול העילי המשודר בתוך המסגרת, לדוגמה: "0800" - פרוטוקול **IP**, "**0600**" פרוטוקול **XNS**, ועוד.
- במסגרת 802.3 מופיע שדה **Length** (גם הוא באורך 2 בתים) המציין את אורך שדה הנתונים (**DATA**). שדה זה מופיע מכיוון שמסגרת 802.3 יכולה לשאת כמות בתים **הקטנה** מהמינימום הדרוש של 64 בתים (ראה סעיף 2 בפרק זה). כדי שהמסגרת תכיל 64 בתים, חייב שדה הנתונים להיות באורך 46 בתים לפחות, כמתואר בציור 12.19.

ההבדל שבין מסגרת "אתרנט" לבין מסגרת **IEEE 802.3** מתבטא, איפוא, בכך שמסגרת "אתרנט" (DIX) **חייבת** להכיל לפחות 46 בתים בשדה הנתונים, ותפקיד השכבות הגבוהות הוא להבטיח זאת. המסגרת מסתיימת בשדה **FCS** ואין כל בעייה לזהות את סוף שדה הנתונים (4 בתים לפני סוף המסגרת). מסגרת 802.3 יכולה להכיל בשדה הנתונים כמות בתים **הקטנה** מ-46, ולכן יש צורך להוסיף בתי סרק (הנקראים **Pad Bytes**) עד להשלמת הכמות המינימלית של 46 בתים. לכן קיים השדה **Length** המציין לצד הקולט מה גודל שדה הנתונים (ראה ציור 12.20).



ציור 12.20: השימוש בשדה **Length**

במסגרת 802.3 המתוארת בציור 12.20 מופיע בשדה **Length** הערך 16. פרוש הדבר שיש 16 בתי נתונים, ויתר 30 הבתים בשדה **DATA** הם בתי סרק (**Pad**). הערך של **Length** הגבוה ביותר הוא 1500, מאחר ואורך שדה הנתונים המקסימלי המותר הוא 1500 בתים, כמתואר בציור 12.19. במסגרות "אתרנט" (**DIX**) שדה ה-**Type** הוא לרוב בעל ערך מספרי **הגבוה** מ-1500, ולכן קיימת אפשרות להריץ את **שני סוגי** המסגרות על אותה רשת: אם השדה **Length/Type** הוא בעל ערך מספרי הגבוה מ- 1500 זוהי מסגרת של "אתרנט", אם הערך הוא נמוך (או שווה) ל-1500 - זוהי מסגרת של 802.3.

דוגמה: ראינו שהערך המספרי של פרוטוקול **IP** בשדה **Type** של "אתרנט" הוא **Hex=0800**. חשב את ערכו המספרי המדוייק.

פתרון: (**Hex**) 0800=0000 0000 1000 0000 (בינארי)=2048 (עשרוני)

לסיכום, ההבדלים בין מסגרות "אתרנט" ו-**IEEE 802.3** הם:

1. מסגרת "אתרנט" חייבת להכיל 46 בתי נתונים לפחות, לקבלת אורך מסגרת מינימלי של 64 בתים (ללא **PA**). מסגרת 802.3 יכולה להכיל כמות בתי נתונים **הקטנה** מ-46. במקרה כזה יש להוסיף בתי-סרק (**Pad**) להשלמה עד 46.

2. מסגרת 802.3 כוללת שדה **Length** לציון אורך שדה הנתונים (כדי לזהות את הנתונים מתוך בתי-הסרק).

3. במסגרת "אתרנט" אין צורך בציון אורך שדה הנתונים, מאחר והוא משתרע עד ה-**FCS** (את שדה ה-**FCS** כבר הכרנו בפרק על פרוטוקולים סינכרוניים). לעומת זאת יש במסגרת "אתרנט" שדה **Type**, לציון סוג הפרוטוקול העילי הנמצא בתוך המסגרת. פונקציה דומה לזאת נמצאת במסגרת 802.3 בתוך שדה הנתונים, והיא נקראת **LLC**.

תרגיל: חשב את קצב המסגרות המקסימלי שיכול להתקיים ברשת אתרנט.

פתרון: המסגרת התקנית הקצרה ביותר היא בת 576 סיביות (כולל סיביות **Preamble**). המרווח המינימלי בין המסגרות הוא 96 סיביות. לכן בשנייה אחת (שווה ערך ל- 10,000 סיביות) יכולות לרוץ ברשת

14,881 מסגרות בשניה = 10,000 : 672 = 10,000 : (576 + 96)

קצב מקסימלי זה של 14,881 מסגרות בשניה (**FPS**) נקרא לעיתים בספרות בשם **Wire Speed**.

12. סיכום פרק י"ב

בפרק זה הכרנו את רשת אתרנט, שהיא הרשת המקומית המקובלת והנפוצה ביותר. פיתוח הרשת החל עוד בתחילת שנות השבעים, אך הפרסום, התקינה וההרחבות נעשו בשנות ה-80 ולמעשה הם ממשיכים גם כיום, עם העלאת קצבי העבודה ל-100 ואף ל-1000 מסל"ש באותו פרוטוקול (**CSMA/CD**).

רשת אתרנט מבוססת על העקרון שברגע מסויים תחנה אחת משדרת וכל יתר התחנות מאזינות. המסגרת מתקדמת לאורך הרשת, חולפת על פני כל התחנות, וכל תחנה בודקת האם כתובת היעד (**DA**) מתאימה לכתובת שלה. באותו זמן ממש יכולה גם תחנה אחרת לשדר מסגרת, וברגע ששתי המסגרות נפגשות נוצרת "התנגשות". כל התחנות ברשת מזהות את ההתנגשות, כולל שתי התחנות שיצרו אותה. הן מפסיקות מייד את השידור ומנסות שנית במועד מאוחר יותר (השונה מתחנה לתחנה).

ברור שככל שיש יותר תחנות פעילות ברשת, וככל שרמת התנועה עולה - עולה גם ההסתברות להתנגשות. תופעת ההתנגשות גורמת לירידה בביצועי הרשת. מקובל להניח שרשת אתרנט המועמסת מעל 30%-40% אינה אפקטיבית, וזמני התגובה שלה ארוכים כתוצאה מריבוי ההתנגשויות. ביישומים שבהם נדרשים ביצועים גבוהים יותר וכן שרידות יותר טובה, משתמשים ברשתות טבעת-אסימון (ראה בפרק הבא).

כדי שהרשת תתפקד כראוי חייבים להתקיים שני תנאים בסיסיים:

1. השהיית ההתפשטות הלוך-וחזור ב-"מרחב ההתנגשות" חייבת להיות קצרה מזמן של 576 סיביות (**57.6us**). הדבר מבטיח שאם קיימת התנגשות, היא תקרה בזמן ששתי התחנות עדיין משדרות, ויש להן אפשרות להפסיק, ולשדר את אותן מסגרות שנית. אם ההתנגשות תקרה לאחר סיום השידור, המסגרת כבר יצאה לדרכה, ולמעשה הלכה לאיבוד.

2. "התכווצות" המרווח בין המסגרות (קיצור **IPG**) אינו עולה על 49 סיביות. תחנות אתרנט (כולל המשחזרים) זקוקות לפחות למרווח של **4.7us** בין המסגרות כדי לאפשר קליטה טובה. מאחר והמרווח התקני בין מסגרות הוא **9.6us**, הרי מותרת "התכווצות" של **4.9us** (או 49 סיביות, שכן משך כל סיבית הוא **0.1us**).

בהמשך הפרק הכרנו את תקני אתרנט השונים:

- **10 Base 5** - התקן הבסיסי, לעבודה על כבל קואקס עבה.
- **10 Base 2** - עבודה על כבל קואקס דק.
- **10 Base T** - רשת המבוססת על רכזות (**Hubs**) וחוטי טלפון לא-מסוככים (**4w UTP**).
- **10 Base F** - מקטעי אתרנט אופטיים.

להשלמה הכרנו גם את תכונות הטרנסיברים והמשחזרים, וכן ראינו את מבנה המסגרת של האתרנט המקורי (**DIX**) והמסגרת המוגדרת ע"י **IEEE 802.3** (שהיא המקובלת כיום).

פרק י"ג - טבעת אסימון
(Token Ring)

1. הקדמה

בפרק הקודם תיארנו את צורת העבודה של רשת אתרנט, וראינו שבגלל תופעת ההתנגשויות קשה לחזות מראש את זמני התגובה של הרשת. שיטת הגישה לרשת של אתרנט (CSMA/CD) היא "דמוקרטית" ומאפשרת לכל תחנה לשדר מתי שתרצה (בתנאי שהמתינה פרק זמן מינימלי של **9.6us** מסוף השידור האחרון). אולם אין כל בטחון שהמסגרת אכן תשודר, מכיוון שבאותו הרגע תחנה אחרת יכולה אף היא לשדר, ואז מתרחשת התנגשות. במלים אחרות, הגישה לרשת אתרנט היא **הסתברותית**: קיימת תמיד הסתברות מסויימת להיכנס לרשת, אך אין הבטחה שכך יקרה.

ברשת טבעת אסימון (טא"ס) אין התנגשויות. תחנה מסויימת יכולה לשדר מסגרת רק אם קיבלה רשות, כלומר, קיבלה את האסימון הנודד ברשת מתחנה לתחנה (כפי שהוסבר בפרק יא סעיף 6 ותואר בציור 11.12). לכן צורת העבודה של רשת טבעת אסימון היא **דטרמיניסטית**, כלומר, זמן התגובה ניתן להערכה במידה רבה של דיוק. כאשר העומס על הרשת גבוה - שיטה זו יותר יעילה משיטת אתרנט, אולם יעילותה היחסית של טא"ס יורדת בעומסים נמוכים.

התומכת הגדולה בשיטת טבעת אסימון היתה חב' יבמ, שהציגה לראשונה את הטכנולוגיה בשנת 1984, והביאה לאישור תקן IEEE 802.5 בשנת 1985. אולם למרות זאת התפוצה של רשתות טא"ס היא נמוכה בהשוואה לתפוצת רשתות אתרנט. יש גם לזכור שרשתות אתרנט השתפרו במשך השנים והגיעו לקצבים של 100 ו-1000 מסל"ש, דבר המחזק את תפוצתן בשוק.

בנוסף לרשתות טבעת אסימון, מיושמת שיטת האסימון הנודד בעוד שתי שיטות גישה לרשת:

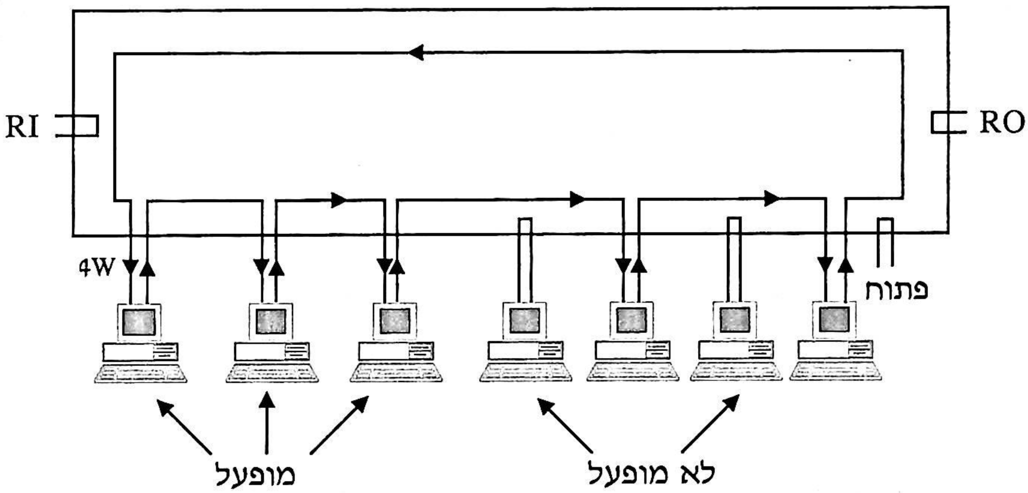
- **Token-Bus** (אפיק אסימון): שיטה המיושמת על רשת ליניארית לאורך אפיק (Bus) רחב-סרט, בדומה לרשת טלויזיה בכבלים (CATV). השיטה נהפכה לתקנית ע"י ארגון IEEE ונקראה 802.4, ואפשר למצא אותה לעיתים בסביבות של רצפת ייצור, כשמעליה פועל פרוטוקול מיוחד הנקרא MAP (שפותח ע"י חברת General Motors). גם רשת ARCNET (שהוזכרה בפרק יא סעיף 2) פועלת בשיטה זאת בקצב של 2.5 מסל"ש. אך מעבר לכך שיטת אפיק האסימון אינה נפוצה כמעט בשוק.

- **FDDI**: שיטת גישה לרשת אופטית מהירה של 100 מסל"ש, שתתואר בפרק הבא.

להלן נתאר בהרחבה כיצד פועלת רשת טבעת אסימון תקנית (IEEE 802.5).

2. עקרון הטבעת הלוגית

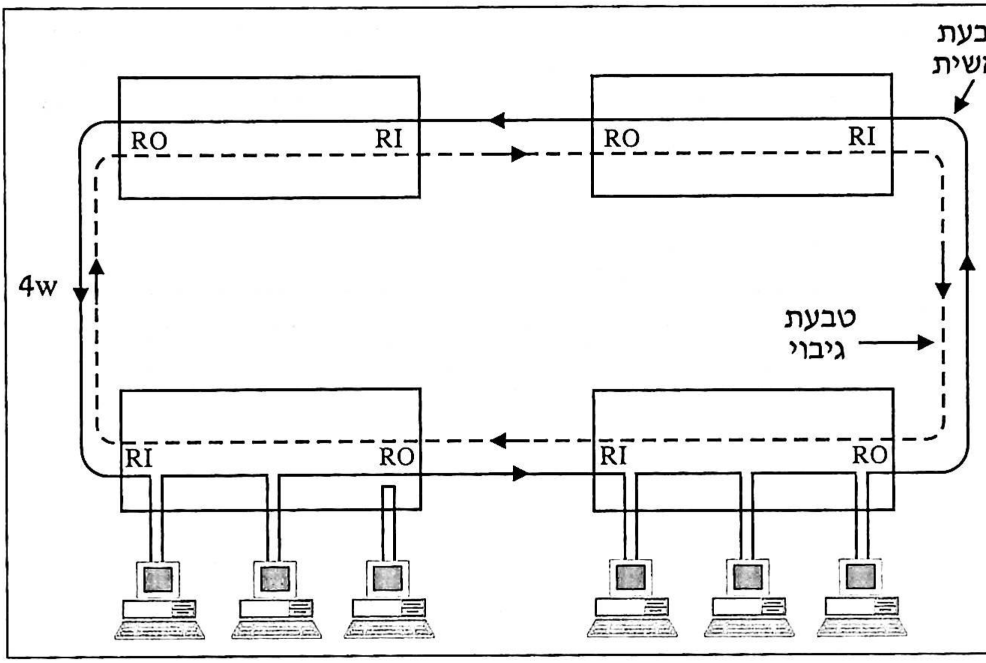
רשת טא"ס בנוייה בצורת טבעת לוגית, כלומר, חייב להיות מסלול **סגור** העובר בין כל התחנות. האלמנט הבסיסי ברשתות טא"ס הוא הרכזת (Hub), שנקראה במקור ע"י יבמ בשם MAU (Multistation Access Unit). ה-MAU הוא למעשה "טבעת מכווצת", כמתואר בציור 13.1.



ציור 13.1: רכזת טא"ס (MAU) כטבעת מכווצת

ה-PC מחובר ל-MAU בעזרת 2 זוגות חוטים (4w), שיכולים להיות מסוככים (STP), בלתי-מסוככים (UTP), או סיבים אופטיים. המחבר המקורי של יבמ נקרא **IBM Data Connector**, ונועד לכבלים מסוככים, אולם יש גם רכזות התומכות במחברי **RJ-45** רגילים. הרכזת בנוייה בצורה כזאת שכאשר המבוא ריק (כלומר ה-PC אינו מחובר או אינו מופעל) יש מעקף פנימי הגורם לסגירת הטבעת. כאשר ה-PC מופעל ומחובר למבוא, המעקף נפתח בעזרת ממסר המופעל ע"י זרם המגיע מה-PC. הטבעת עוברת דרך ה-PC, וזוג חוטים (שידור) מוציא את המידע מה-PC חזרה לטבעת. ה-PC המחובר לטבעת משמש לכן כמגבר חד-כיווני.

ה-MAU המקובל הוא בעל 8 מבואות לחיבור תחנות, ובנוסף יש לו מבוא **RING-IN (RI)** ומבוא **RING-OUT (RO)** המשמשים לחיבור רכזות לטבעת לוגית גדולה יותר, כמתואר בציור 13.2.



ציור 13.2: טבעת המורכבת מכמה רכזות

מבוא RING-OUT ברכזת מסויימת מתחבר למבוא RING-IN ברכזת הבאה בעזרת 2 זוגות חוטים, כך שהטבעת נסגרת. אם אין מחברים חיצונית את הרכזת (כלומר RI ו-RO הם פתוחים), הטבעת נסגרת בתוך הרכזת עצמה, כמתואר בציור 13.1.

אפשר לסכם ולאמר:

טופולוגיית טא"ס היא אוסף רכזות, המחוברות בטבעת. כל רכזת (MAU) עצמאית היא טבעת לוגית, ורכזת פיזית.

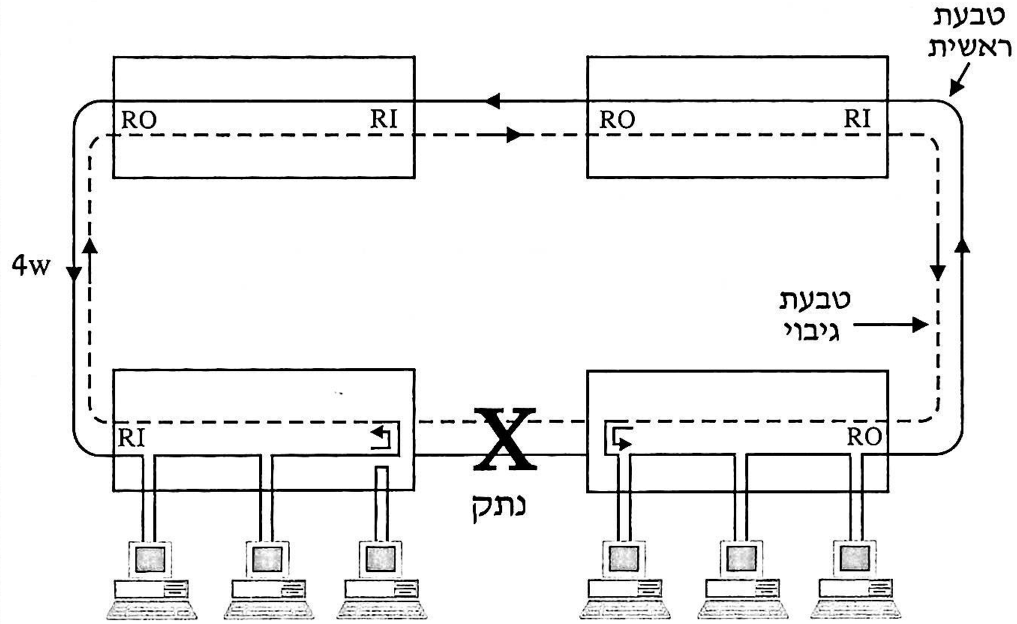
מאפיינים נוספים של רשת טא"ס הם:

- שימוש בחוטים מסוככים (STP) או בלתי-מסוככים (UTP)
- עבודה בקצב 4 או 16 מסל"ש
- שידור Baseband בקידוד מנציסטר דיפרנציאלי
- אפשר לחבר לרשת עד 260 תחנות בכבילת STP, או 72 תחנות בכבילת UTP

3. גיבוי ושרידות

ברשתות טא"ס הוכנסו אמצעי גיבוי ושרידות מובנים, כדי לשפר את יכולת עמידת הרשת בפני תקלות. כמתואר בציור 13.2, הרשת מורכבת משתי טבעות: טבעת ראשית (זוג חוטים) המוליכה בכוון מסויים, וטבעת גיבוי המוליכה בכוון ההפוך. במצב רגיל כל התחנות מחוברות לטבעת הראשית, ולטבעת הגיבוי

אין שימוש. אולם כאשר מסיבה כלשהיא נפתחת הטבעת הראשית, מייד נוצר מסלול חדש, המנצל את טבעת הגיבוי. לדוגמה, בציור מס' 13.3 נקרע הכבל המחבר בין שתי רכזות. ברגע שיש נתק בכבל, שני המבואות משני צידי הנתק מגלים זאת באופן אוטומטי, וסוגרים את הטבעת בשתי הרכזות.



ציור 13.3: הגנה בפני נתק

נוצרה טבעת חדשה שעקפה את נקודת הנתק, מבלי שהרשת הפסיקה לעבוד אפילו לרגע קצר.

שים-לב שהטבעת החדשה שנוצרה היא בעלת אורך **כפול** מהטבעת המקורית, וניחות האות לאורך הטבעת הוא גבוה יותר. אם יש תחנות לאורך הטבעת הן משמשות כמגברים. אולם במקרה הגבולי יתכן שמחוברות שתי תחנות סמוכות בלבד, ואז הניחות הוא למעשה לאורך כל הטבעת.

ברשת טא"ס קיימים אמצעי הגנה וגיבוי נוספים:

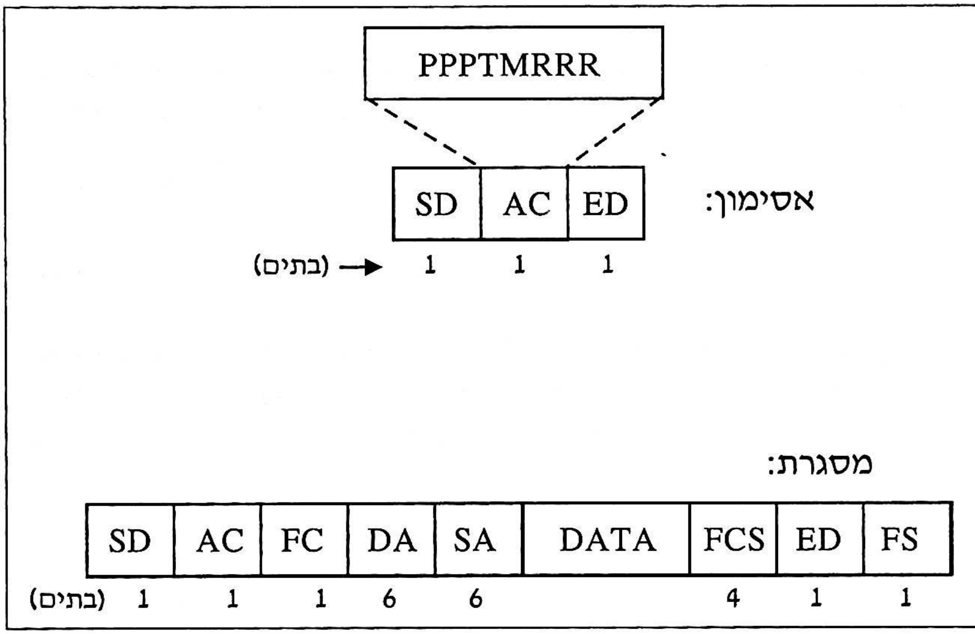
- נטר אקטיבי (Active Monitor) - תחנה מיוחדת שתפקידה לבדוק ולוודא פעילות סדירה של הרשת. פירוט נוסף על פעילות הנטר האקטיבי ונטרי הגיבוי יינתן בסעיף מס' 6 להלן.

- בעת חיבור מחשב חדש לרשת מתבצע תהליך אתחול, שבו נבדק החווט לתחנה, נבדק שהכתובת אינה כפולה, ונשלחת הודעה למחשבים האחרים ברשת על הפעלת התחנה החדשה.

- מנגנון אזעקות מיוחד (Beaconing) מובנה ברשת, שתפקידו לסייע באיתור תקלות.

4. מבנה מסגרת טא"ס

מבנה האסימון ומסגרת טא"ס מתוארים בציור 13.4.



ציור 13.4 - מבנה האסימון ומסגרת טא"ס

האסימון הוא מסגרת קצרה בעלת 3 בתים (24 סיביות):

- **SD (Start Delimiter)** - צרוף מיוחד של 8 סיביות, המציין תחילת מסגרת או אסימון.

- **AC (Access Control)** - צרוף של 8 סיביות: **PPPTMRRR**.

P = סיביות המגדירות עדיפויות של מסגרות (ראה גם סיביות R בהמשך)

T = 0 מציין אסימון, T = 1 מציין מסגרת (נתונים או בקרה)

M = סיבית ניטור (Monitor). נקבעת בדרך כלל לערך "0". הנטר האקטיבי משנה את הערך ל- "1" כאשר המסגרת עוברת לידו. אם המסגרת עוברת ליד הנטר האקטיבי פעם נוספת, הנטר האקטיבי מבטל את המסגרת ומוציא אסימון.

R = סיביות "מקום שמור" (Reservation), בנויות באותה צורה כמו סיביות העדיפות (P). הצירוף של 3 סיביות P ו-3 סיביות R מאפשר הקצאת 8 רמות של עדיפויות לצרכים מיוחדים.

- **ED (End Delimiter)** - צרוף מיוחד של 8 סיביות, המציין סוף אסימון או מסגרת.

הערה: הבתים SD ו-ED אינם בתים הכוללים סיביות רגילות, אלא כוללים אותות מיוחדים שאינם תואמים לקידוד מנצ'סטר דיפרנציאלי הנהוג במסגרות טא"ס (ראה סעיף 6 בהמשך). לכן שני בתים אלה לא יחזרו על עצמם בשדות אחרים במסגרות טא"ס, והם יכולים לציין את הפתיחה והסיום של האסימון והמסגרת.

המסגרת המלאה של טא"ס (ציור 13.4) כוללת את שלושת הבתים של האסימון, אלא שהפעם סיבית T בשדה AC מקבלת את הערך "1". השדות של המסגרת הם:

- **SD** (ראה לעיל).
- **AC** (ראה לעיל).
- **FC (Frame Control)** - בית המציין האם המסגרת כוללת נתונים או בקרה: אם שתי הסיביות הראשונות (משמאל) הן "01" - זאת מסגרת נתונים; אם שתי הסיביות הראשונות הן "00" - מדובר במסגרת בקרה. במקרה של מסגרת בקרה, שלוש הסיביות האחרונות קובעות את סוג המסגרת, לדוגמה:

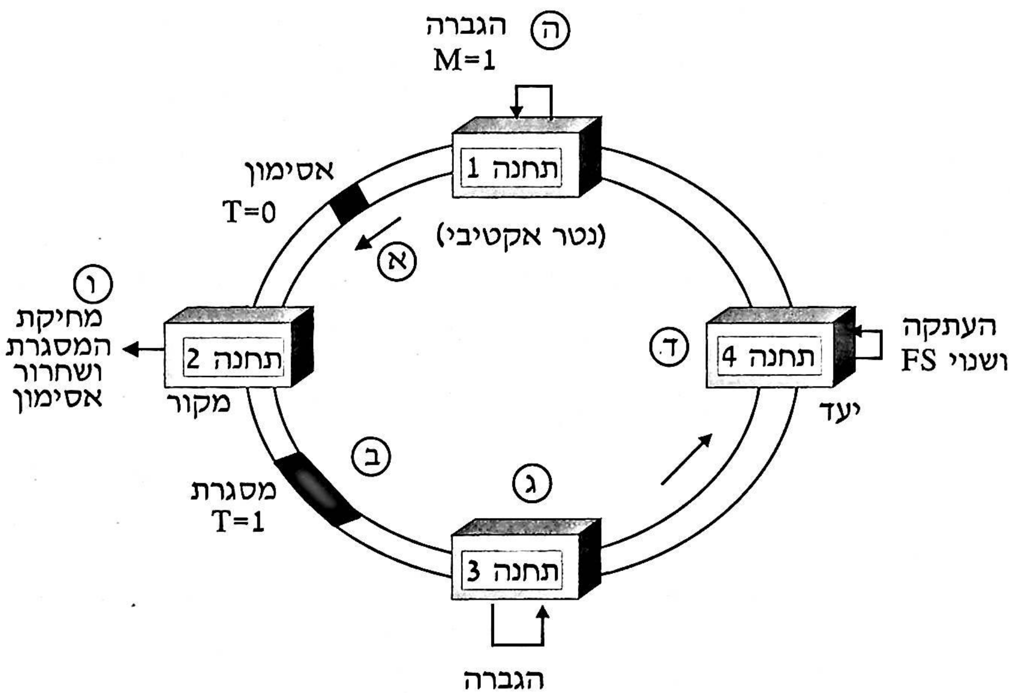
  00 000 010 - מסגרת אזעקה **(Beacon)**
  00 000 011 - מסגרת דרישה לאסימון **(Claim Token)**
  00 000 101 - מסגרת **AMP** המשודרת ע"י הנטר האקטיבי
  00 000 110 - מסגרת **SMP** המשודרת ע"י כל התחנות האחרות
  מסגרות אלו תוסברנה בסעיף 6 להלן.

- **DA (Destination Address)** - כתובת תחנת היעד (6 בתים). אם הסיבית הראשונה בבית הראשון היא "1", פרוש הדבר שיש שידור לקבוצת כתובות, או לכל התחנות ברשת.
- **SA (Source Address)** - כתובת תחנת המקור (6 בתים). הסיבית הראשונה היא "סיבית הניתוב" ואם היא בערך "1" יש הוראות ניתוב בשדה מיוחד.
- **FCS (Frame Check Sequence)** - בדיקת שגיאות במסגרת.
- **ED** (ראה לעיל).
- **FS (Frame Status)** - בית אחד המציין אם הנתונים הועתקו ע"י תחנת (או לא) היעד. הסיביות בבית הן: **ACXXACXX**. כאשר המסגרת משודרת ע"י תחנת המקור, הסיביות הן **00XX00XX** (X יכול להיות 0 או 1). כאשר המסגרת נקלטה ותוכנה הועתק ע"י תחנת היעד, תחנת היעד משנה את המסגרת ל-**11XX11XX**, ומשדרת אותה בחזרה לתחנת המקור, המוחקת אותה. ייתכן מצב שהמסגרת נקלטה ע"י תחנת היעד, אך תוכנה לא הועתק (למשל בגלל **FCS** לא תקין). במקרה זה תחנת היעד תשדר בחזרה את הצרוף **10XX10XX** ותחנת המקור תחליט האם לשדר המסגרת שוב.

הערה: חשוב לציין כי במסגרות טא״ס משדרים תחילה את הסיבית בעלת הערך המספרי הגבוה (Most Significant Bit = MSB). במסגרות אתרנט, לעומת זאת, משדרים תחילה את הסיבית בעלת הערך המספרי הנמוך (Least Significant Bit = LSB).

5. דוגמה לתהליך שידור מסגרת

לאחר שהכרנו את מבנה האסימון ומסגרת הטא״ס, נראה בדוגמה כיצד התהליך פועל. ציור 13.5 מתאר רשת בעלת 4 תחנות, המסומנות מ-1 עד 4.



ציור 13.5: דוגמה לרשת טא״ס

תחנה 1 (שהיא במקרה גם נטר אקטיבי) משדרת אסימון חופשי לתחנה 2. תחנה 2 רוצה לשדר מסגרת לתחנה 4, ולכן היא ״תופסת״ את האסימון, משנה את סיבית T בשדה AC מ-״0״ ל-״1״, ושולחת מסגרת הנראית כמו בציור 13.4. המסגרת מגיעה לתחנה 3, הבודקת אותה, מחליטה שאינה מיועדת עבורה, ומשדרת אותה הלאה לתחנה 4 (תחנה 3 ביצעה אגב-כך הגברה של המסגרת). המסגרת נקלטת בתחנה 4, המזהה אותה כמיועדת לה, ומעתיקה אותה. תחנה 4 ממשיכה בשידור המסגרת, כאשר היא משנה את השדה FS מ-00XX00XX ל-11XX11XX. המסגרת נקלטת כעת בתחנה 1, המשמשת כנטר אקטיבי, משנה את סיבית M בשדה AC מ-״0״ ל-״1״, וממשיכה בשידור לכוון תחנה 2. תחנה 2 קולטת את המסגרת, מזהה בשדה FS שהכל בסדר, מוחקת את המסגרת ושולחת אסימון חופשי (T=0 בשדה AC) לתחנה 3.

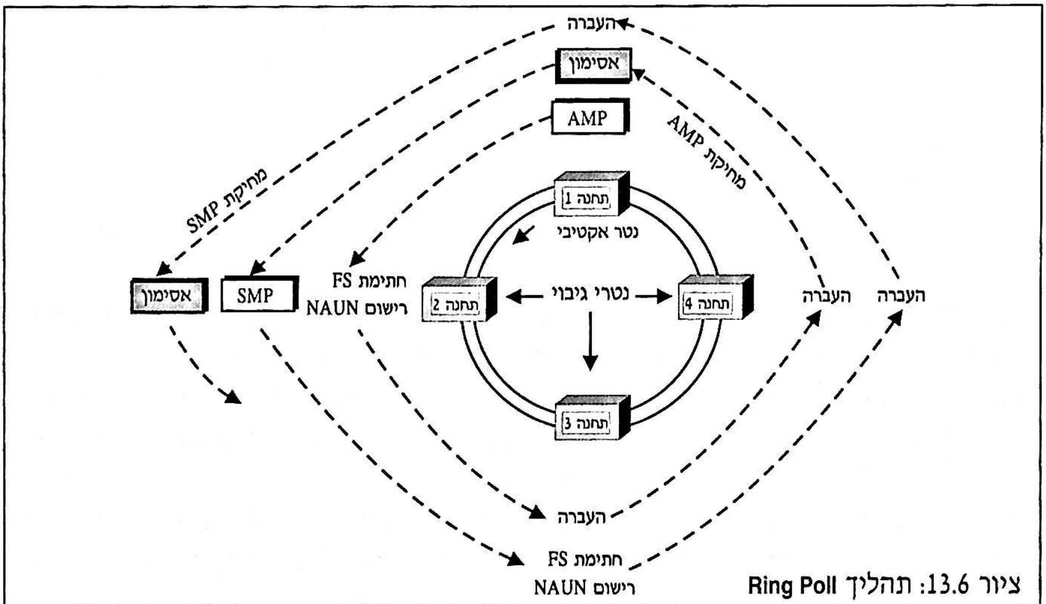
6. הנטר האקטיבי ומנגנוני הבקרה

כבר הוזכר בסעיף 3 כי ברשת קיימת תחנה מיוחדת, שתפקידה לבקר את פעילות הרשת ולהבטיח את תקינותה. תחנה זו נקראת **נטר אקטיבי** (**Active Monitor**), והיא בדרך-כלל המחשב הראשון שהופעל ברשת. מאחר ותפקידי הניטור מבוצעים ע"י כרטיס הרשת (**NIC**), מפעיל התחנה כלל אינו מודע לכך כי ה-**PC** שלו הוא הנטר האקטיבי. למעשה, כל אחת מתחנות הרשת יכולה להיות הנטר האקטיבי, וברגע שנבחרה לכך תחנה מסויימת, כל היתר הופכות להיות "נטרי גיבוי" (**Standby Monitors**). ברגע שהנטר האקטיבי חדל מלמלא את תפקידו (למשל, עקב כיבוי או ניתוק ה-**PC**), ייבחר מייד נטר אקטיבי אחר בצורה אוטומטית. בדרך-כלל, הנטר החדש יהיה ה-**PC** בעל הכתובת הגבוהה ביותר ברשת.

פעולה אחת של הנטר האקטיבי כבר ראינו בסעיף הקודם: הנטר "מסמן" מסגרות שחולפות על פניו, ע"י שינוי סיבית **M** בשדה **AC** מ-"0" ל-"1". אם המסגרת המסומנת לא תימחק ע"י תחנת המקור (כפי שצריך היה לקרות), היא תחלוף שוב על-פני הנטר האקטיבי, שיזהה את הסיבית **M=1**, ימחק את המסגרת ויוציא אסימון חדש.

אחת ל-7 שניות הנטר האקטיבי משדר מסגרת מיוחדת הנקראת **AMP** (**Active Monitor Present**), כלומר "אני קיים". המסגרת הזאת מתאפיינת בצירוף מסויים בשדה **FC** (ראה סעיף מס' 4) והיא משודרת לכל התחנות ברשת. התחנה הבאה בכוון הזרימה (תחנה 2 בציור 13.6) קוראת את כתובת המקור (**SA**) של מסגרת **AMP**, ושומרת אותה ככתובת **NAUN** (**Next Active Upstream Neighbor**), כלומר "השכן מלמעלה".

התחנה משנה את השדה **FS** מ-**00XX00XX** ל-**11XX11XX**, שפרושו שהמסגרת הועתקה. מסגרת **AMP** ממשיכה בדרכה, ויתר התחנות מזהות את ה"חותמת" בשדה **FS** ונותנות למסגרת להמשיך ללא שינוי. לבסוף המסגרת חוזרת לנטר האקטיבי, המגלה שהמסגרת "הוחתמה" ע"י "השכן מלמטה", ומוציא אסימון חופשי (ראה ציור 13.6).



ציור 13.6: תהליך **Ring Poll**

התחנה הבאה (מסי 2 בציור 13.6) תופסת את האסימון ומשדרת מסגרת מיוחדת הנקראת SMP (Standby Monitor Present), לכל התחנות ברשת. תחנה מסי 3 רושמת את כתובת SA של תחנה 2 בזכרון NAUN שלה, "מחתימה" את המסגרת בשדה FS, ומשדרת הלאה. תחנות מסי 4 ו-1 מעבירות את המסגרת ללא שינוי, ולבסוף תחנה מסי 2 מוחקת אותה ומשחררת אסימון חופשי. תחנות מסי 3 ו-4 חוזרות על התהליך.

תהליך זה נמשך, כאמור, אחת ל-7 שניות ונקרא Ring Poll. בסוף התהליך נרשמת בכל תחנה כתובת "השכן מלמעלה" (NAUN). אם יש שינוי באחת מכתובות NAUN, התחנה המזהה שולחת מייד דווח על כך. כתובות NAUN נחוצות לצורך שידור מסגרות אזעקה (Beacon), במידה והרשת מזהה פגיעות חמורות (Hard Errors). אם תחנה מסויימת חושדת שהשכן (NAUN) נפגע, היא שולחת מסגרות אזעקה, המוגדרות ע"י צירוף מסויים בשדה FC (ראה סעיף 4).

מסגרות האזעקה (Beacon) כוללות את כתובת התחנה החשודה (NAUN), והן חוזרות על עצמן 8 פעמים. כאשר תחנת ה-NAUN מזהה את כתובתה, היא חייבת לנתק את עצמה מהטבעת ולבצע בדיקות על החווט שלה (Lobe Test). אם הבדיקות עוברות בהצלחה, היא מתחברת מחדש לטבעת. אם לא - תחנת NAUN נשארת מנותקת. אם כעבור 26 שניות התחנה ששידרה מסגרות אזעקה עדיין מרגישה שיש תקלה, היא מנתקת את עצמה מהרשת, ומבצעת על עצמה בדיקות חווט. בסופו של דבר האלמנט התקול מתנתק מהרשת, ובמידה ולא - נדרשת התערבות ידנית של מנהל הרשת.

איך נבחר נטר אקטיבי חדש?

נניח שברגע מסויים הנטר האקטיבי הפסיק לפעול. התחנה הסמוכה (מסי 2 בציור 13.6) מזהה שני מחזורים ללא מסגרת AMP (15 שניות לערך), ואז היא מתחילה בשידור מסגרות הנקראות Claim Token (דרישה לאסימון), כמוגדר בסעיף 4. מסגרות אלה עוברות בין יתר התחנות, וכל תחנה יכולה לרשום את כתובתה (אם היא גבוהה יותר), כך שלבסוף נבחרת התחנה בעלת הכתובת הגבוהה ביותר ברשת. כאשר תחנה זו קלטה 3 מסגרות Claim Token של עצמה, היא נהפכה לנטר האקטיבי של הרשת. היא שולחת מסגרת מיוחדת (הנקראת Purge) ל"נקות" את הרשת מכל האסימונים הקיימים, ולאחר מכן משדרת אסימון חדש משלה.

תפקידים נוספים של הנטר האקטיבי הם:

- סינכרון מרכזי של השעון וניקוי Jitter מהרשת. בכל יתר התחנות יש מעגל PLL, והן מסתנכרנות לשעון שנקבע ע"י הנטר האקטיבי.
- יצירת השהייה מינימלית של 24 סיביות ברשת (ע"י שימוש במעגל של Shift Register), כך שהאסימון, שהוא המסגרת הקצרה ביותר, לא יחזור לתחנה ששידרה אותו בטרם סיימה לשדר את כולו.

7. שחרור מוקדם של אסימון

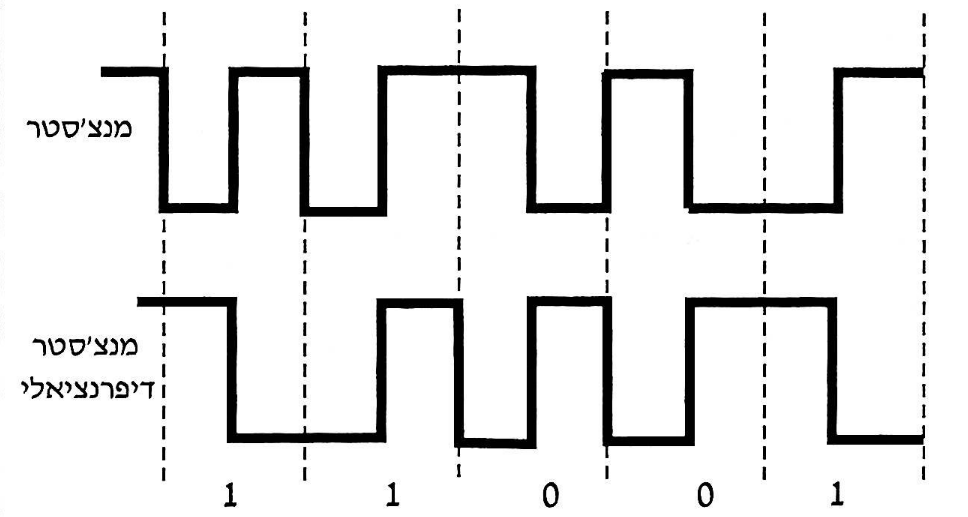
ברשת טא"ס המקורית (4 מסל"ש) האסימון שוחרר ע"י התחנה המשדרת רק לאחר שהמסגרת עברה לאורך כל הטבעת וחזרה לתחנה (כפי שתואר בסעיף 5). משמעות הדבר שהרשת "תפוסה" במשך כל זמן הסיבוב של המסגרת, עד חזרתה לתחנת המקור, זמן השווה לשידור 100-50 בתים בקצב של 4 מסל"ש.

כאשר יבמ הכריזה על גירסת 16 מסל"ש, היא כללה תכונה אופציונלית של שחרור אסימון מוקדם, או באנגלית: Early Token Release) ETR). בשיטה זו, התחנה המשדרת משחררת את האסימון מייד בגמר שידור המסגרת, ותחנה אחרת יכולה להשתמש בו ולשדר מסגרת נוספת. פירוש הדבר שבטבעת יכולות להתקיים כמה מסגרות בעת ובעונה אחת. ברור שנצילות הרשת וזמני התגובה שלה משתפרים.

יש להדגיש שלמרות שבטבעת סובבות כמה מסגרות, עדיין יש לה אסימון **אחד**. כמו-כן, באותה רשת יכולות לפעול בצוותא תחנות עם תכונת **ETR** ותחנות בלי **ETR**.

8. קידוד מנצ'סטר דיפרנציאלי

ראינו בפרק הקודם שרשת אתרנט עובדת בקידוד מנצ'סטר, ולעומת זאת רשת טא"ס עובדת בקידוד מנצ'סטר דיפרנציאלי. ציור 13.7 מתאר את שתי שיטות הקידוד, זו מתחת לזו.



ציור 13.7: קידוד מנצ'סטר ומנצ'סטר דיפרנציאלי

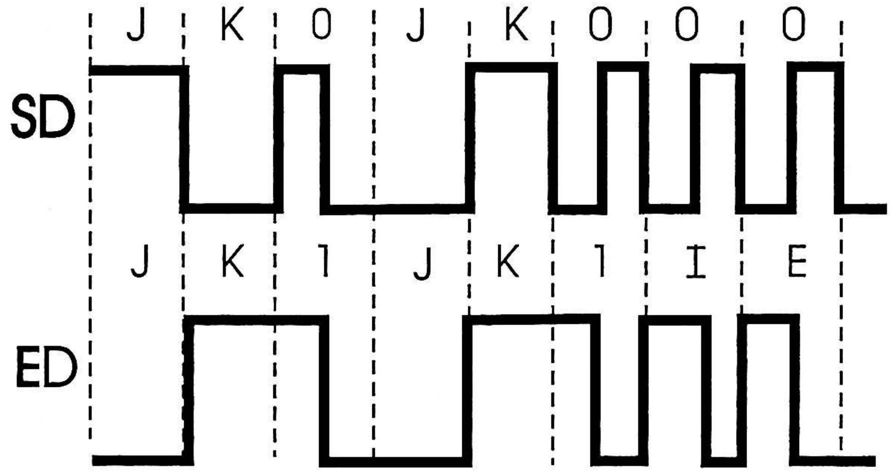
בקידוד מנציסטר כל סיביות "1" נראות אותו הדבר (באמצע הסיבית יש עליית מתח), וכן כל סיביות "0" (באמצע הסיבית יש ירידת מתח). גם בקידוד מנצ'סטר דיפרנציאלי יש שינוי מתח באמצע הסיבית (כלומר האות כולל גם שעון מובנה), אולם אותן סיביות יכולות להראות אחרת (ראה לדוגמה את שתי סיביות "1" הראשונות). במנצ'סטר דיפרנציאלי הופעת "0" משנה את רמת המתח, והופעת "1" אינה משנה את רמת המתח.

הסיבות שקידוד מנצ'סטר דיפרנציאלי נבחר ליישומי טא"ס הן:

- התברר שהוא יותר חסין בפני הפרעות.
- בקידוד מנצ'סטר הסיביות "0" ו-"1" הן הופכיות (כמו בתמונת ראי). אם בטעות נהפכו החוטים, כל הסיביות יתהפכו ("0" ייהפך ל-"1", ולהפך). בקידוד דיפרנציאלי תופעה כזאת אינה יכולה לקרות.

בסעיף 4 לעיל הוזכרו הבתים SD ו-ED שאינם כוללים סיביות רגילות. למעשה, שני בתים אלה כוללים חריגות מכוונות (Violations) מקידוד מנצ'סטר דיפרנציאלי, כך שצורות הגל האלה לא תוכלנה להופיע בשדות אחרים במסגרות טא"ס. לכן הבתים SD ו-ED יכולים לציין את הפתיחה והסיום של האסימון והמסגרת, ללא חשש לשיבושים.

ציור 13.8 מתאר את צורת הגל של SD (JK0JK000) ושל ED (JK1JK1IE). שני הסימנים J ו-K חורגים מחוקי הקידוד, מאחר שבאמצע הסיבית אין קפיצת מתח (כמו בסיביות "חוקיות"). סיבית J ממשיכה את רמת המתח הקיימת, ואילו סיבית K משנה את רמת המתח בתחילתה (ולא באמצעיתה כנדרש). הסיביות J ו-K באות תמיד ביחד, כדי למנוע היווצרות של מתח ישר על הקו. סיבית I=1 בבית ED מציינת שזאת מסגרת ביניים (Intermediate) ויש בהמשך מסגרות נוספות, וסיבית E משמשת לתיקון שגיאות.



ציור 13.8: בתי SD ו-ED

9. השוואת אתרנט וטא״ס

הטבלה הבאה משווה את התכונות העיקריות של אתרנט וטא״ס.

תכונה	אתרנט	טא״ס
מפתח השיטה	חברות DIX	חברת IBM
קצב (סל״ש)	10/100/1000 M	4/16M
שיטת גישה	CSMA/CD	טא״ס
טופולוגיה	רכזות	רכזות
מסי מקסימלי של תחנות	1024	72 (UTP) 260 (STP)
גודל המסגרת (בתים)	64-1518	4,048 (4M) 16,192 (16M)
מחיר	נמוך	גבוה
שרידות	אין	יש
אמינות	טובה	יותר טובה
עדיפויות	אין	יש
סיבוכיות	נמוכה	גבוהה
גישה לרשת	הסתברותית	דטרמיניסטית
עומס ברשת	35-40%	עד 90%
תחזוקה	פשוטה	יותר מסובכת
הרחבות	מיתוג Full Duplex 100/1000 M	מיתוג

10. סיכום פרק י"ג

בפרק זה הכרנו את רשתות טא"ס, או IEEE 802.5. בניגוד לרשתות אתרנט, רשתות טא"ס פועלות באופן דטרמיניסטי, וזמני התגובה שלהן ניתנות לחיזוי. הגישה לרשת מותרת לכל תחנה שקיבלה אסימון, ומנגנון מיוחד מבטיח שהאסימון "יסתובב" ברשת כל הזמן.

פרוטוקול טא"ס פותח ע"י חבי יבמ, וקודם על ידה במשך השנים. המשתמשים ברשתות טא"ס הם לרוב משתמשי ציוד יבמ, או משתמשים שהפעולה הדטרמיניסטית ויכולת השרידות חשובים להם. הרשת המקורית של יבמ עבדה בקצב של 4 מסל"ש, אך בהמשך עלתה ל-16 מסל"ש.

פרוטוקול טא"ס מיושם ע"י כרטיסי הרשת (NIC), כפי שמבוצע גם ברשת אתרנט. אולם ברשת טא"ס שולבו אמצעי גיבוי והגנה רבים, במטרה להעלות את אמינותה וזמינותה, והרשת מסוגלת להתגבר בעצמה על מספר תקלות. לכן כרטיסי טא"ס הם יקרים יותר מכרטיסי אתרנט, וזו אחת הסיבות לנפיצות הנמוכה יותר של רשתות טא"ס.

היישום הפיזי של רשתות טא"ס נעשה בעזרת רכזות (Hubs), שיכולות להיות ייעודיות (כגון MAU), או רכזות מודולריות המשלבות תמיכה באתרנט, טא"ס, ופרוטוקולים אחרים (כגון רכזות "מולטינט" של חברות מאדג'). חיבור התחנות לרכזות נעשה בעזרת שני זוגות חוטים שזורים (4w), היכולים להיות מסוככים (STP), בלתי מסוככים (UTP), או סיבים אופטיים. באותם אמצעי כבילה מחברים גם את הרכזות זו לזו (RI ל-RO).

פרק י"ד — FDDI
(Fiber Distributed Data Interface)

1. הקדמה

ה-FDDI היא רשת מקומית (LAN), שתוכננה במטרה לספק רוחב-סרט גבוה יותר למחשבים "חזקים" (כגון: שרתים או Main Frames) שלא הסתפקו ברוחב-הסרט שהציעו להם רשתות אתרנט וטא"ס הקיימות (4 או 10 מסל"ש באותה תקופה).

לרשת FDDI יש התכונות העיקריות הבאות:

- תווך התקשורת הוא סיב-אופטי
- הטופולוגיה - טבעת כפולה (בדומה לטא"ס)
- שיטת הגישה לרשת - העברת אסימון
- קצב העבודה - 100 מסל"ש
- טווח הרשת - 100 ק"מ (לאורך הטבעת)

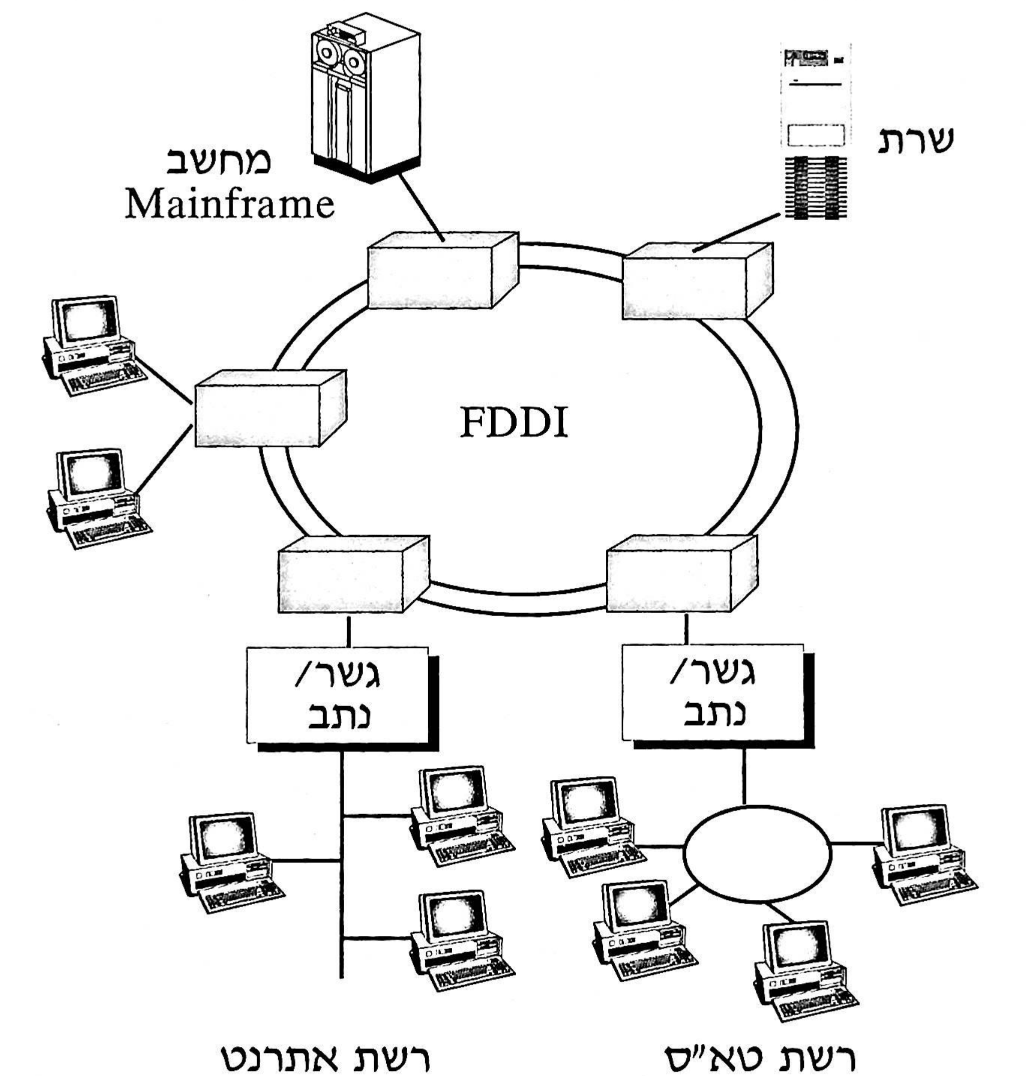
תקינת ה-FDDI נעשתה ע"י ארגון ANSI, התקן פורסם בשנת 1986 ונקרא ANSI X3T9.5. השימוש בסיבים אופטיים איפשר את קצב העבודה הגבוה (100 מסל"ש), אך גם הרחיב את טווח העבודה של הרשת עד כדי אורך טבעת של 100 ק"מ. במרחקים כאלה הטבעת יכולה להקיף עיר שלמה, ולכן מתייחסים לרשת FDDI כאל רשת מטרופוליטאנית (Metropolitan Area Network=MAN), ולא כרשת LAN שבה הטווח מוגבל למספר ק"מ בודדים. בהקשר זה נזכיר את המושג WAN (Wide Area Network) שהיא רשת בלתי מוגבלת בטווחים (כגון: X.25, רשת הטלפון וכו'), ולכן ברור ש-FDDI אינה רשת WAN.

בגלל תכונותיהן משתמשים ברשתות FDDI בעיקר לשלושת היישומים הבאים:

א. רשת מקומית מהירה, המחברת אלמנטים הדורשים רוחב-סרט גבוה במיוחד (כגון: מחשבים במרכז החישוב). לרשת מסוג כזה קוראים לעיתים "רשת אחורית" (Back-end).

ב. רשתות תשתית (Backbone), המחברות את המחשבים ה"כבדים" של הרשת, וכן מחברות רשתות LAN רגילות בעזרת גשרים או נתבים (שאת תכונותיהם נכיר בפרקים הבאים). ציור 14.1 מתאר יישום טיפוסי כזה.

ג. רשת מקומית "קדמית" (Front-end) המחברת תחנות עבודה מהירות, שרתים מקומיים, וכו'.



ציור 14.1: ה-FDDI כרשת תשתית

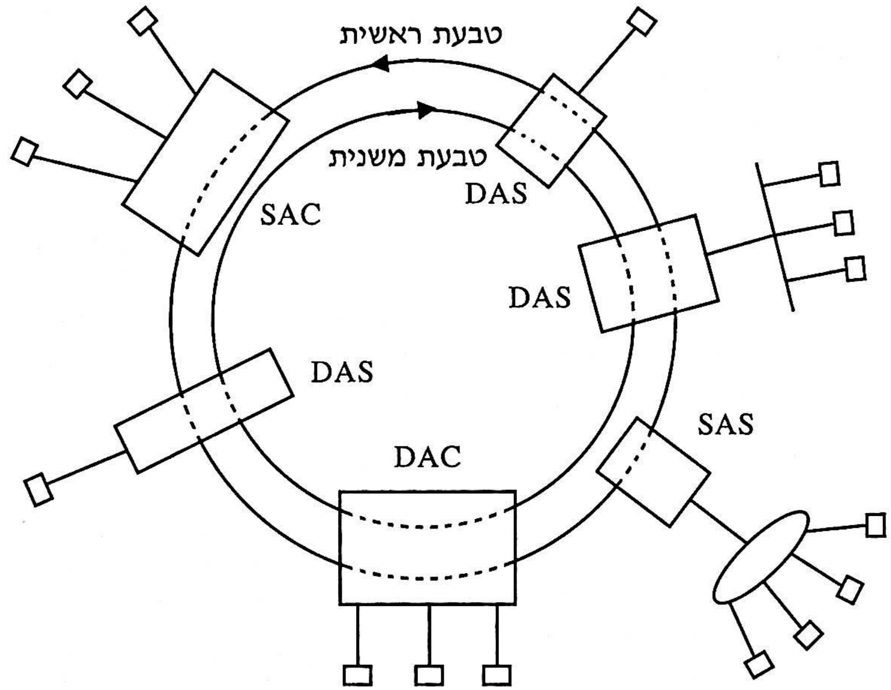
2. טופולוגיית FDDI

רשת **FDDI** רגילה מורכבת משתי טבעות הפועלות בכוונים מנוגדים בקצב של 100 מסל"ש כל-אחת. בדרך-כלל טבעת אחת משמשת כגיבוי לשנייה, ומופעלת כאשר נגרם נזק לטבעת הראשית. לעיתים מנצלים רק טבעת אחת, ואז ניתן לקבל טווח של 200 ק"מ. התווך המקורי היה סיב-אופטי מסוג **Multimode**, המאפשר הרחקת התחנות עד 2 ק"מ ביניהן. סיב-אופטי מסוג **Singlemode** מאפשר הגדלת המרחק בין התחנות עד 60 ק"מ, וכן אפשר להשתמש בחוטים שזורים לקישור מקומי (טכנולוגיה הנקראת **CDDI = Copper Digital Data Interface**). כמות האלמנטים המחוברים לרשת יכולה להגיע עד 500.

תקן FDDI (ANSI X3.166/ISO 9314-3) מגדיר 4 סוגי אלמנטים:

- **DAS (Dual Attached Station)** - תחנה המחוברת לשני סיבים
- **SAS (Single Attached Station)** - תחנה המחוברת לסיב בודד
- **DAC (Dual Attached Concentrator)** - רכזת המחוברת לשני סיבים
- **SAC (Single Attached Concentrator)** - רכזת המחוברת לסיב בודד

ציור 14.2 מתאר כיצד אלמנטים אלה מתחברים לרשת.



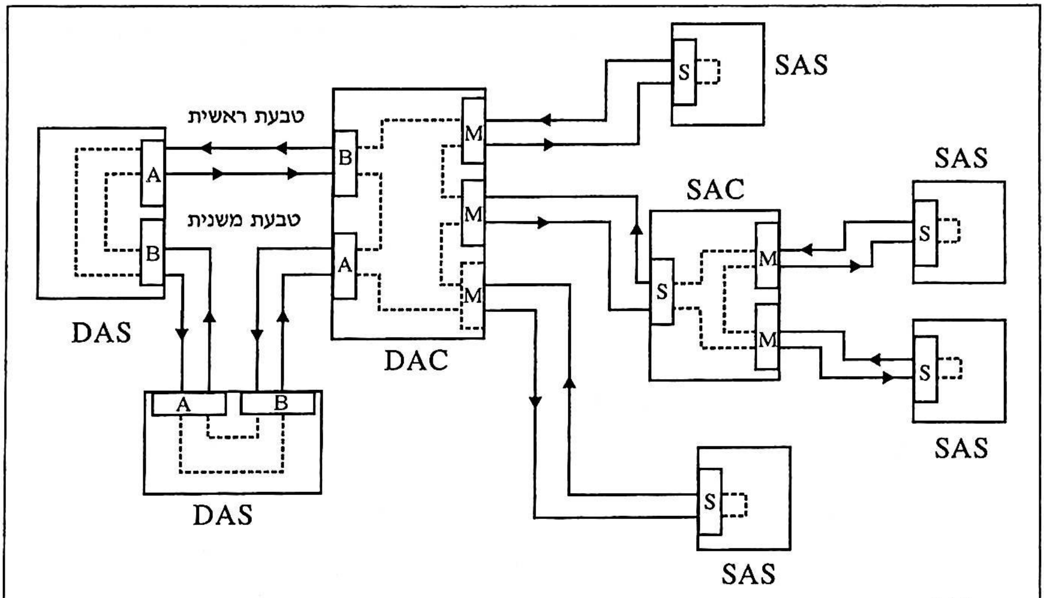
ציור 14.2 - טופולוגיית FDDI

לרשת המגובה, בעלת שני הסיבים, מתחברים רק אלמנטים מסוג **DAS** או **DAC**. לאלמנטים אלה יש שני מבואות (**Ports**) המתחברים לרשת הכפולה, ונקראים **A** ו-**B**:

- מבוא **A** - הטבעת הראשית נכנסת, הטבעת המשנית יוצאת
- מבוא **B** - הטבעת הראשית יוצאת, הטבעת המשנית נכנסת

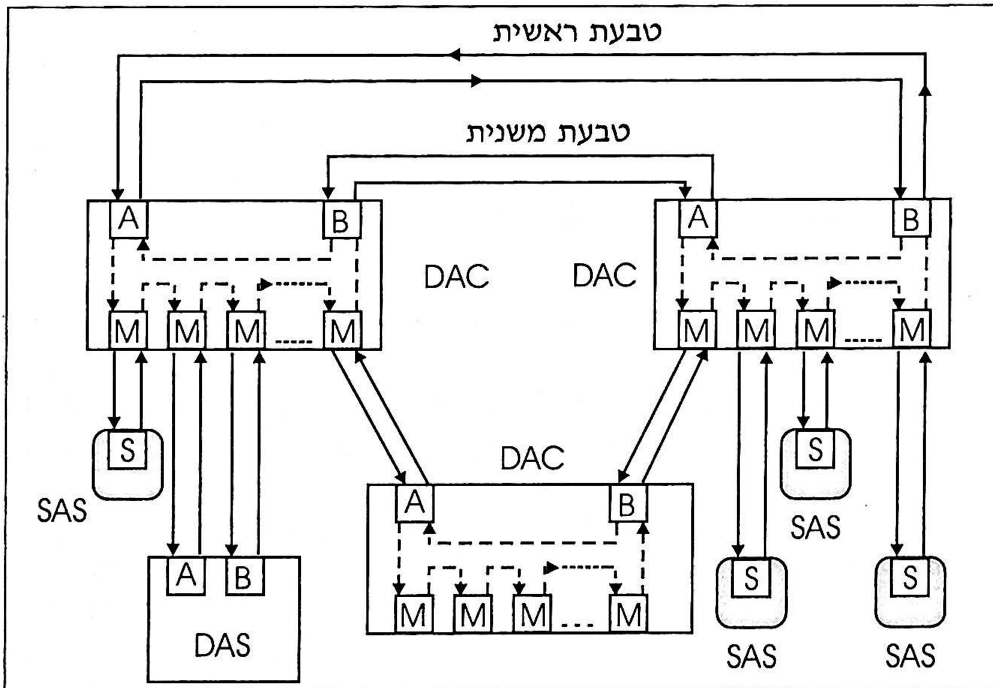
לרכזות מסוג **DAC** יש בנוסף מבואות מסוג **M (Master)** המתחברים למבואות מסוג **S (Slave)**. לרכזות מסוג **SAC** יש מבוא **S** אחד (המתחבר למבוא **M** ב-**DAC**), ומבואות **M** נוספים המתחברים למבואות **S** של תחנות **SAS** או **SAC**.

ציור 14.3 מפרט את הגדרת מבואות **FDDI**, והקשר שביניהם.



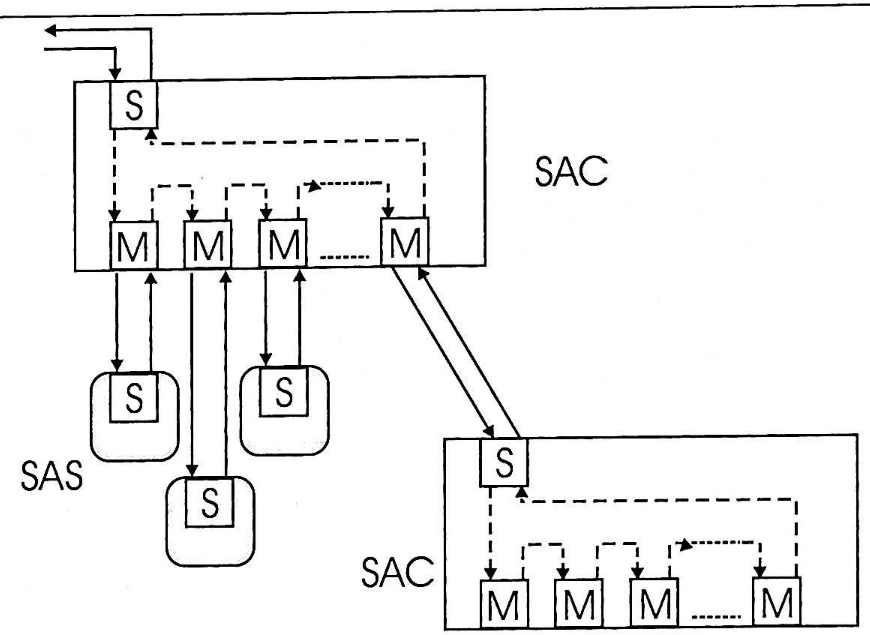
ציור 14.3 - הגדרת מבואות FDDI

קיימת אפשרות לחבר רכזת DAC לשתי רכזות DAC אחרות המחוברות לזוג סיבי ה-FDDI. ציור 14.4 מתאר רכזת DAC שמבואות הרשת שלה (B,A) מחוברות למבואות M של שתי רכזות נפרדות. חיבור כזה נקרא "ביות כפול" (Dual homing). גם תחנת DAS ניתן לחבר בשיטת הביות הכפול ל-DAC אחד (כמו בציור 14.4), או לשני DAC נפרדים.



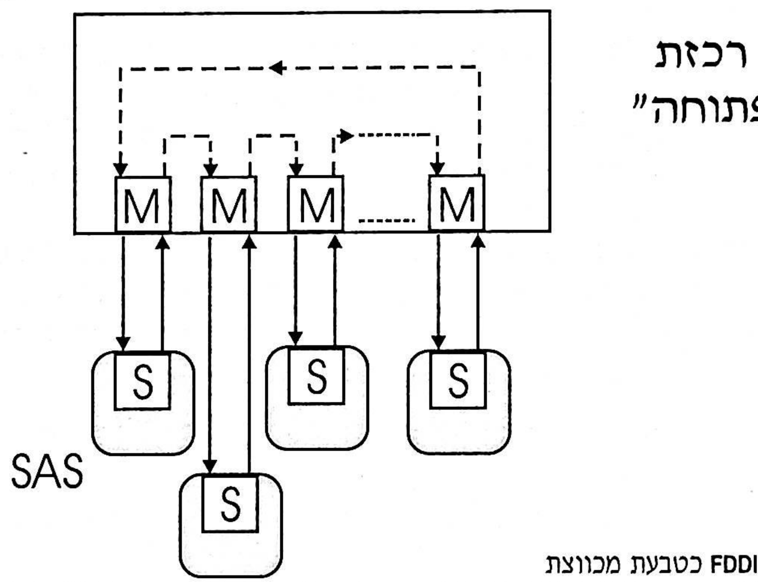
ציור 14.4 - ביות כפול

שים-לב שהטבעת הראשית עוברת תמיד **בכל** האלמנטים ברשת, ואילו הטבעת המשנית עוברת רק באלמנטים מסוג **DAS** או **DAC**. בציור 14.4 אנו רואים שנוצרה טבעת משנית נוספת בין שלושת רכזות **DAC**, שתפקידה להגן על ה-**DAC** התחתון במקרה של תקלה באחד מחיבורי הביות הכפול שלו. קיימת גם אפשרות לשרשר רכזות **SAC** כמתואר בציור 14.5, ובמקרה כזה אין כל גיבוי.



ציור 14.5 - רכזות **SAC** משורשרות

ברור שרכזת מכל סוג שהוא שחיבורי הרשת שלה "פתוחים", משמשת כטבעת **FDDI** מכווצת, כמתואר בציור 14.6.



ציור 14.6 - רכזת **FDDI** כטבעת מכווצת

כאמור בתחילת הסעיף כמות האלמנטים המחוברים **ישירות** לרשת יכולה להגיע עד 500 (או במילים אחרות 1000 ממשקים מסוג A ו-B). אולם אין כל מגבלה לכמות התחנות המתחברות **אל** האלמנטים האלה.

3. ה-FDDI כרשת טבעת - אסימון

בפרק הקודם הכרנו את עקרון הפעולה של רשת טא"ס, ובפיסקה 7 (בפרק יג) ראינו את שיטת השחרור המוקדם של האסימון (ETR), האפשרית ברשתות טא"ס של 16 מסל"ש. ברשתות FDDI שיטה זאת הפכה לתקנית. תחנת FDDI המקבלת אסימון חופשי, יכולה לשדר מספר מסגרות (במשך זמן מסויים המוקצב לה), ובגמר השידור היא משחררת את האסימון לתחנה הבאה. כאשר המסגרות חוזרות לתחנה המשדרת, באחריותה לסלק את המסגרות מן הרשת.

רשת FDDI יכולה להציע שרותים משני סוגים:

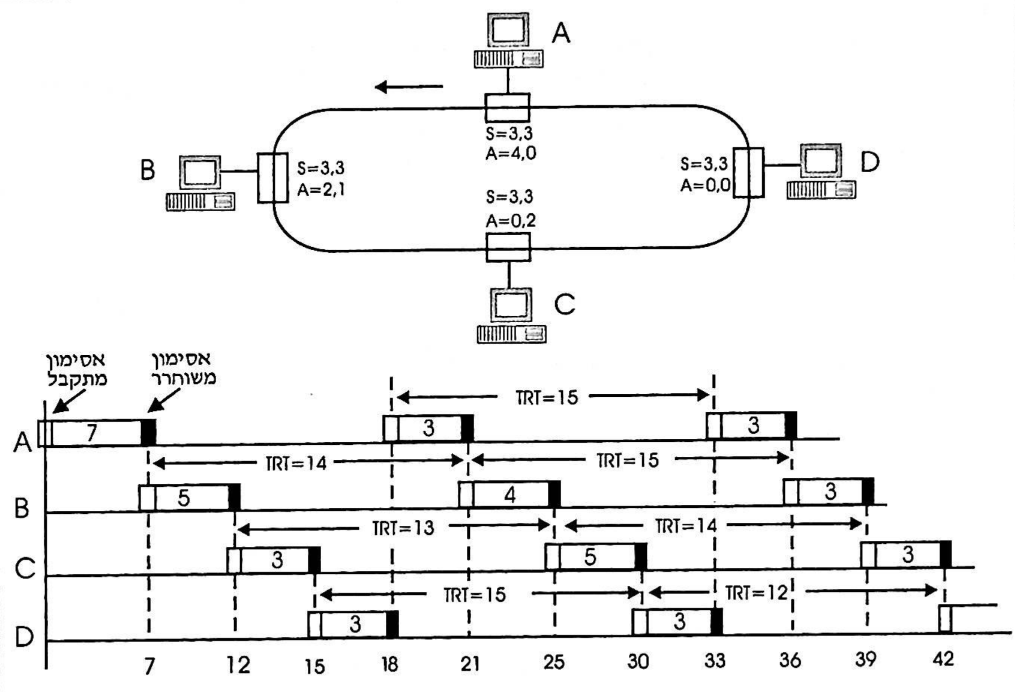
- שירותים **סינכרוניים** - ליישומים הדורשים רוחב-סרט מובטח, כל תחנה תוכל לשדר כמות נתונה של מידע בכל פעם שהיא מקבלת את האסימון. שירותים אלה הם אופציונליים ברשת FDDI.

- שירותים **אסינכרוניים** - רוחב הסרט הנותר (לאחר השימוש ברוחב הסרט הסינכרוני) מוקצה לתחנות בצורה דינמית.

הערה: שים-לב שהמושגים סינכרוני ואסינכרוני בהקשר ל-FDDI, אינם זהים לאלה שהכרנו מקודם.

בעת הפעלת הרשת נקבע ע"י התחנות זמן הסיבוב המתוכנן **הממוצע** של האסימון, הנקרא TTRT (Target Token Rotation Time). בכל תחנה נמדד ע"י טיימר זמן הסיבוב **האמיתי** של האסימון, שהוא הפרש הזמן בין ההופעה הנוכחית של האסימון וההופעה הקודמת באותה תחנה. טיימר זה נקרא TRT (Token Rotation Timer). הזמן שבין TTRT לבין TRT נקרא "זמן החזקת האסימון" (Token Holding Time = THT) והוא הזמן שמותר לתחנה לשדר מסגרות בשירות **אסינכרוני**.

כדי להמחיש את צורת העבודה, נניח רשת FDDI בעלת ארבע תחנות, ובה נקבע TTRT = 15 יחידות זמן. בנוסף נקבע שכל תחנה יכולה לשדר מסגרות מובטחות (שירות סינכרוני) במשך 3 יחידות זמן. ציור 14.7 מתאר את פעילות כל אחת מהתחנות.

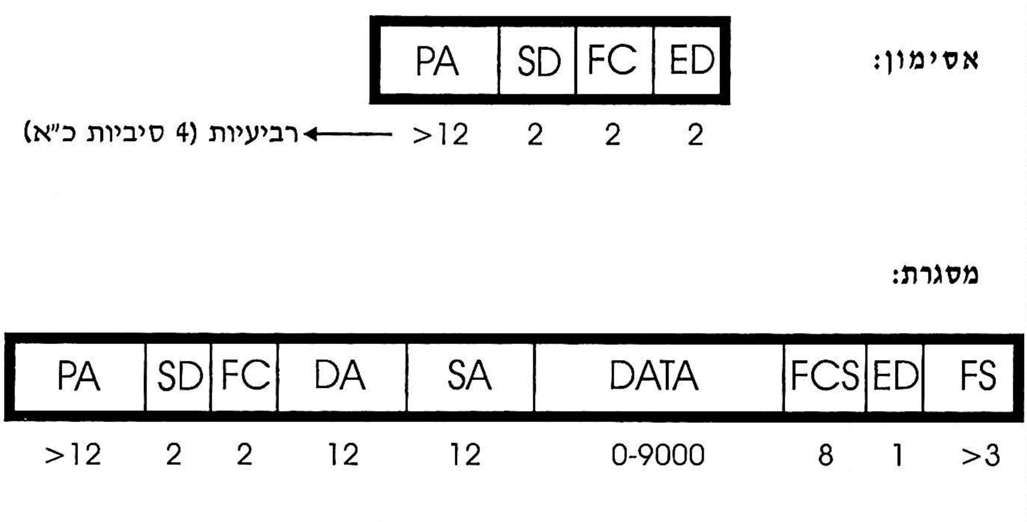


ציור 14.7 - פעילות רשת FDDI

בתחילת התהליך הטיימר **O=TRT** בתחנה **A**. נניח שתחנה **A** קיבלה אסימון ברגע **t=0**, והיא שידרה במשך 3 יחידות זמן מידע סינכרוני (כפי שמותר לה). מאחר ו-**TRT**<15 מותר לה, תיאורטית, לשדר מסגרות אסינכרוניות. נניח שהיא משדרת מסגרות אסינכרוניות במשך 4 יחידות זמן נוספות, וברגע **t=7** היא משחררת אסימון. בתחנה **B** קיים **TRT=7**, והיא משדרת במשך **S=3** (שלוש יחידות זמן סינכרוניות) ו-**A=2** (שתי יחידות זמן אסינכרוניות). ברגע **t=12** היא משחררת אסימון לתחנה **C**. בתחנה **C** קיים **TRT=12** והיא משדרת **S=3**. מותר לה לשדר עוד מסגרות אסינכרוניות, אך נניח שאין לה מה לשדר. האסימון החופשי מגיע ברגע **t=15** לתחנה **D**, שבה **TRT=15**. מאחר וכרגע **TRT=TTRT**, לתחנה מותר לשדר רק **S=3**, **ואסור** לה לשדר מסגרות בשירות אסינכרוני. היא מעבירה אסימון חופשי לתחנה **A**, ושם קיים **TRT=18**. מאחר ו-**TRT>TTRT** בוודאי שאסור לתחנה **A** לשדר מידע אסינכרוני, והיא משדרת מידע סינכרוני בלבד. התהליך ממשיך בצורה דומה, והתחנות מחלקות ביניהן את רוחב-הסרט ברשת לפי הנדרש.

4. מבנה האסימון והמסגרת

מבנה האסימון והמסגרת של **FDDI** דומים מאוד לאלה שהכרנו בטא״ס, אם-כי יש מספר שינויים (ראה ציור 14.8).



ציור 14.8 - מבנה האסימון והמסגרת של FDDI

השדות של מסגרת FDDI בנויים **מרביעיות** (4 סיביות כ״א), בניגוד לבתים (8 סיביות) שמהם נבנו מסגרות אתרנט וטא״ס.

האסימון מורכב מ-4 שדות:

- **PA (Preamble)** - לפחות 12 רביעיות של ״1״, שנועדו לסנכרן את השעון בתחנה הקולטת (שדה דומה הכרנו גם במסגרת אתרנט).

- **SD (Starting Delimiter)** - שתי רביעיות (הסימנים J,K), לציון תחילת האסימון (או המסגרת).

- **FC (Frame Control)** - שתי רביעיות המציינות את סוג המסגרת: CLFF ZZZZ

  C (Class): C=0 מציין מסגרת אסינכרונית
  C=1 מסגרת סינכרונית

  L (אורך שדה הכתובות): L=0 פירושו 16 סיביות (4 רביעיות)
  L=1 פירושו 48 סיביות (12 רביעיות)

  FF (Format): FF=00 מציין מסגרת MAC
  FF=01 מציין מסגרת LLC

  ZZZZ: שדה בקרה

- **ED (Ending Delimiter)** - שתי רביעיות (הסימנים T,T) לציון סוף האסימון.

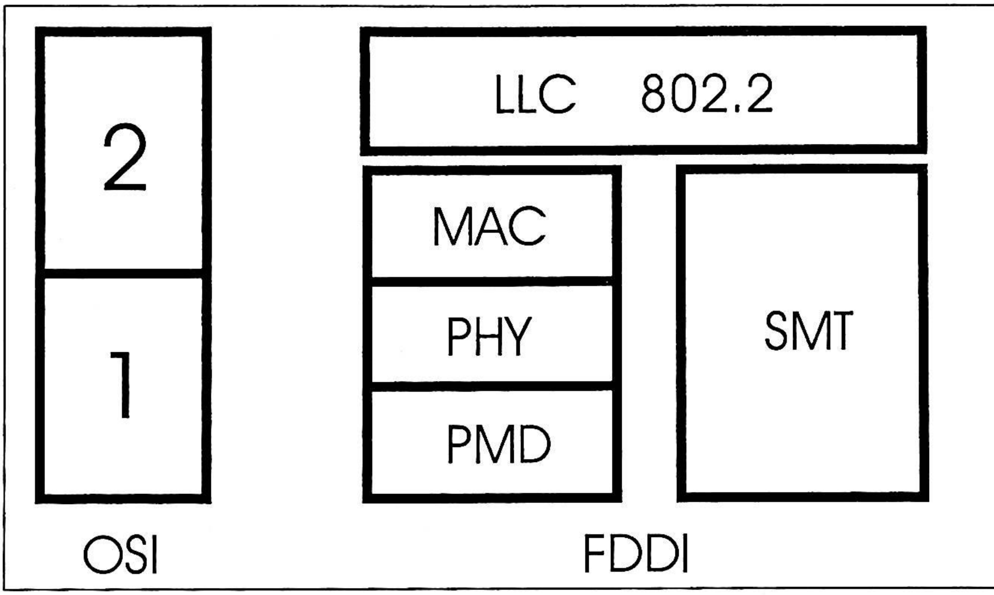
המסגרת בנוייה מהשדות הבאים:

- **PA** - כמו באסימון.
- **SD** - כמו באסימון.
- **FC** - כמו באסימון.
- **DA (Destination Address)** - כתובת תחנת היעד, 4 או 12 רביעיות.
- **SA (Source Address)** - כתובת תחנת המקור, 4 או 12 רביעיות.
- **DATA** - נתונים, עד 9000 רביעיות (4500 בתים).
- **FCS** - שדה תקון שגיאות, מבוסס על אלגוריתם **CRC-32** (8 רביעיות).
- **ED** - כמו באסימון, אבל באורך של רביעיה אחת.
- **FS (Frame Status)** - מכיל לפחות את הרביעיות הבאות:
  E (Error) - האם נתגלתה שגיאה.
  A (Address) - זיהוי כתובת.
  C (Copy) - המסגרת הועתקה.

5. שכבות הפרוטוקולים של FDDI

ה-FDDI פועל בשתי השכבות התחתונות של מודל ה-OSI (כמו אתרנט וטא״ס). השכבה הראשונה (השכבה הפיזית) מחולקת לשתי תת-שכבות (ראה ציור 14.9):

- פרוטוקול השכבה הפיזית (PHY)
- הממשק הפיזי, השונה מתווך לתווך (Physical Medium Dependent=PMD)



ציור 14.9 - שכבות הפרוטוקולים של FDDI

החלוקה לשתי תת-שכבות נועדה להפריד בין הפונקציות הקבועות, הקיימות בכל היישומים (כגון: קידוד, סינכרון וכו'), לבין הפונקציות התלויות בסוג הממשק הפיזי (כגון: סוג הסיב, עוצמת השידור, סוג המחבר ועוד). לכן פרוטוקול השכבה הפיזית (PHY) **משותף** לכל ההתקנים,ואילו תת-שכבת PMD עשוי להשתנות מציוד לציוד.

השכבה השנייה מחולקת אף היא לשתי תת-שכבות:

- פרוטוקול IEEE 802.2 LLC (שכבר הכרנו אותו).
- פרוטוקול הגישה MAC, המוגדר בתקנים ANSI X3.139 / ISO 9314-2. כמו ברשתות LAN האחרות, מטפל פרוטוקול MAC ביצירת המסגרות, בדיקת שגיאות, הטיפול באסימון וניהול הכתובות.

פרוטוקול LLC **אינו** חלק מתקני FDDI. הוא "רץ" מעל כל הרשתות המקומיות (LAN) של משפחת IEEE, ומהווה מעין "שכבת בידוד": כל יישום שנכתב מעל LLC, יכול לרוץ באופן שקוף מעל כל LAN - אתרנט, טא"ס או FDDI, ללא צורך בשינוי כלשהו.

בנוסף לכך, ל-FDDI יש פונקציית ניהול מיוחדת הנקראת SMT (Station Management Function), שאינה קיימת ברשתות אתרנט וטא"ס. ה-SMT נמצא בתוך תחנת העבודה, והוא מבקר ומנטר את פעילותה.

תפקידי ה-SMT הם:

- ניהול הטבעת - איתור ותיקון תקלות בטבעת, ע"י יצירת "מעקפים" סביב האלמנט התקול.
- ניהול ההתחברות - ניהול הכניסה והיציאה של התחנה מהרשת.
- בדיקה שוטפת של פעילות הטבעת בעזרת מסגרות בקרה שונות (כגון: מסגרות דווח על תחנה שכנה, דיווח סטטוס של התחנה עצמה ועוד).

הערה: למרות שקיים תקן ספציפי לניהול רשת FDDI (SMT), יש נטייה כיום להשתמש בפרוטוקול הניהול הידוע SNMP, המקובל בכל רשתות LAN.

בתת-שכבת PMD מוגדרים הממשקים הפיזיים הבאים:

- **MMF-PMD:** סיב אופטי, Multimode, 62.5/125u (קוטר פנימי וחיצוני), אורך גל שידור 1300nm, מרחק מקסימלי בין תחנות - 2 ק"מ. זהו הסיב הנפוץ ביותר ביישומי FDDI.
- **SMF-PMD:** סיב אופטי Singlemode, 8.7/125u, מרחק מקסימלי בין תחנות - 60 ק"מ.
- **LCF-PMD:** סיב אופטי זול (Low Cost), 200/230u, מרחק מקסימלי 500 מ'.
- **TP-PMD:** חוטי נחושת מסוככים (STP), או בלתי מסוככים (UTP), המשמשים לחיבור תחנה לרכזת, למרחק עד 100 מטר. חוטי הנחושת לא נועדו להוות חלק מהטבעת עצמה.

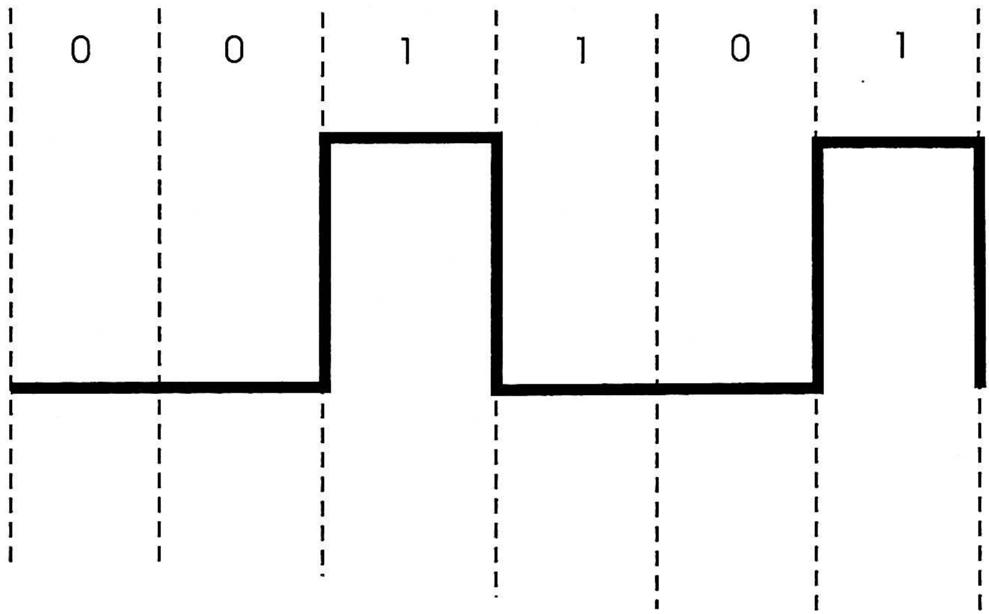
תת שכבת PHY מטפלת בפונקציות הבאות:

- **תרגום המידע** לצורך שידורו ברשת. כל רביעיית סיביות מתורגמת לקבוצה של 5 סיביות בשיטה הנקראת 4B/5B. לכן קצב השידור האמיתי ברשת FDDI הוא 125 מסל"ש (ומתוכם רק 100 מסל"ש ניתנים לשימוש). המעבר מ-4 סיביות ל-5 סיביות (בשיטת 4B/5B) נעשה בצורה כזאת המבטיחה שיש לפחות שני "1" בקומבינציה החדשה, כך שניתן להעביר אותות שעון מובנים בצורה סבירה ברשת. אילו היינו משתמשים בקידוד מנצ'סטר ב-FDDI (כפי שהדבר נעשה באתרנט) היה צורך ברוחב-סרט כפול (של 200 מגהרץ), לעומת 125 מגהרץ שמשתמשים בשיטת 4B/5B.

  דוגמאות לתרגום 4B/5B:

4B	5B
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101

- **קידוד המידע בשיטת** NRZI (Non-Return to Zero Inverted). בשיטה זאת מתרגמים שינוי מתח כ-1, וחוסר שינוי כ-0 (ראה ציור 14.10).



ציור 14.10 - קידוד NRZI

שיטת NRZI מקטינה את כמות המעברים (שינויי המתח) באות, ולכן מקטינה את סבוך מעגלי ה-FDDI, תוך שמירה על כמות מספקת של שינויים הדרושה לשידור השעון לאורך הטבעת, ולסינכרון כל אחד מהמקלטים. שתי סיביות "1" בכל חמישיה של 4B/5B מבטיחות לפחות שני שינויי מתח בכל 5 סיביות, המספיקים לשחזור השעון במקלט. במילים אחרות, ב-FDDI לא ייתכן שידור של יותר מ-3 אפסים רצופים.

6. סכום פרק י"ד

רשת FDDI היא רשת מהירה, הפועלת בקצב של 100 מסל"ש, בעלת שתי טבעות בכוון זרימה מנוגד, ושיטת גישה מבוססת על העברת האסימון (בדומה לטא"ס). שיטת הגישה הדטרמיניסטית מאפשרת נצילות גבוהה של 90% - 80% , או רוחב-סרט אפקטיבי של 80-90 מסל"ש. ברשת אתרנט, כפי שראינו בפרק יב, הנצילות היא כ-35% בלבד, או רוחב הסרט הוא 3.5 מסל"ש.

בגלל קצב העבודה והנצילות הגבוהה של רשת FDDI, היא נמצאת בשימוש ביישומים הדורשים קצבי עבודה גבוהים כגון:

- חיבור מחשבים וציוד הקפי מהיר
- תחליף לרשתות LAN עמוסות ואיטיות
- רשת תשתית המחברת בין רשתות LAN שונות
- רשת מטרופוליטאנית (MAN) המכסה איזור גיאוגרפי של עשרות ק"מ.

ברשת FDDI קיימים מנגנוני הגנה מובנים, המקנים לרשת שרידות ואמינות גבוהים: סיב הגיבוי הנכנס לפעולה במקרה של תקלה בסיב הראשי, מנגנון העוקף תחנה תקולה (או לא מופעלת), אפשרות ל"ביות כפול" עבור אלמנטים חשובים, ועוד.

ציוד FDDI כולל: כרטיסי רשת (NIC), רכזות ייעודיות ל-FDDI התומכות בממשקים השונים (PMD), רכזות LAN שבהן משולבים מודולי FDDI, משחזרים וכו'.

יישום FDDI הוא יקר, בעיקר בגלל הממשקים האופטיים הדרושים. רוחב הסרט של FDDI (שהוא אמנם גבוה יחסית) **מתחלק** בין כל התחנות ברשת, דבר המגביל את התרחבות הרשת, כפי שקיים גם באתרנט וטא"ס. לרשתות מסוג זה קוראים "רשתות שתופיות" (Shared), משום שרוחב-הסרט **משותף** לכל התחנות, וככל שמספר התחנות עולה, רוחב-הסרט של כל אחת מהן קטן. כפי שנראה בהמשך, קיימות רשתות מסוג אחר, הנקראות "רשתות ממותגות" (Switched), שבהן רוחב-הסרט של כל תחנה אינו מושפע מכמות התחנות ברשת.

פרק ט"ז - תקשורת בסיבים אופטיים

1. הקדמה

ההתפתחות הטכנולוגית בתחום הסיבים האופטיים מהווה צעד חשוב באבולוציה של מערכות תקשורת. בשנת 1966 הועלה לראשונה הרעיון להשתמש בסיבי זכוכית כמדיום לתקשורת, ומאז הושקעו מאמצים רבים בפיתוח סיבים בעלי ניחות (Attanuation) נמוך, ובפיתוח מרכיבים נוספים של העורק האופטי (כגון מקורות-אור ומחברים).

הסיבות להשקעות ולפיתוח המואץ הן **היתרונות הרבים של התקשורת בסיבים-אופטיים**:

- ניחות נמוך
- רוחב סרט גבוה
- גודל פיזי קטן
- משקל נמוך
- גמישות
- חסינות בפני הפרעות אלקטרומגנטיות
- בטחון מידע (Security)
- איכות תמסורת טובה

מערכות אופטיות בקצב של 2.5 גסל"ש (Gbps, גיגה סיביות לשנייה; גיגה=אלף מיליון) כבר פועלות בארץ. בעולם פועלות מערכות בקצב של 10 גסל"ש, ובמעבדות אף הגיעו לקצבים של 40 גסל"ש ויותר. כדי להמחיש את המספרים האלה, אפשר להעביר את כל 45 הספרים של "אנציקלופדיה בריטניקה" בפחות מחצי שנייה, במערכת אופטית של 2.5 גסל"ש.

מאחר והסיבים אינם מוליכים, הם חסינים בפני רעשים חשמליים, שדות מגנטיים והפרעות רדיו. קשה מאוד להתחבר לסיב ו"לגנוב" את המידע שבו, ולכן הסיבים מתאימים ליישומים צבאיים, שבהם נדרשת עמידה בתקני TEMPEST (תקנים מחמירים של הצבא האמריקאי למניעת דליפות מידע). באותו האופן, הסיבים אינם מושפעים מברקים, רעשים כתוצאה מהארקה לא טובה, והפרעות של "ערב דיבור" (Crosstalk) האופייניות לתקשורת על חוטי נחושת.

אולם, לסיבים יש גם כמה **מגרעות**:

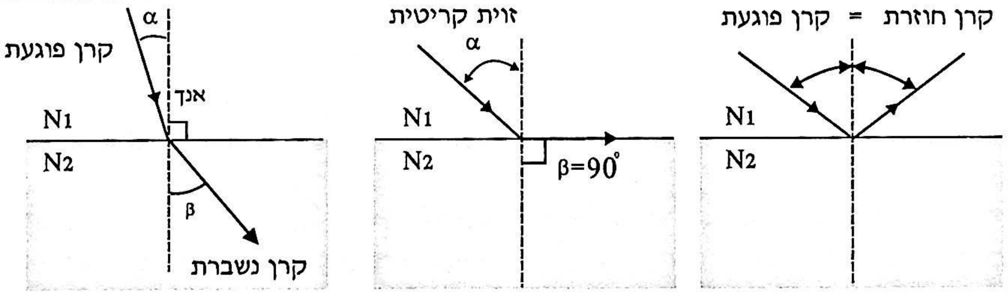
- תיקון סיב שנקרע (Splicing) דורש מיומנות וכלים מיוחדים.
- כדי לאתר את מקום התקלה נדרש ציוד בדיקה מיוחד ויקר הנקרא - TDR (Time Domain Reflectometer).
- הסיב יותר שביר מחוט נחושת, ורדיוס הכיפוף שלו יותר מוגבל.
- מחירי כבלים אופטיים והתחזוקה שלהם יותר גבוהים מכבלי נחושת.

2. רקע טכנולוגי

קרני האור הן בעצם גלים אלקטרומגנטיים, בעלי תדר ואורך-גל מסויימים (אורך גל מוגדר כיחס שבין מהירות האור לבין התדר). האור הנראה מכיל גלים בעלי אורך-גל הנע בין **400nm** לבין **750nm** . הקרינה שמשתמשים בה לתקשורת בסיבים אופטיים היא בדרך-כלל בתחום של **750nm** ועד **1500nm**.

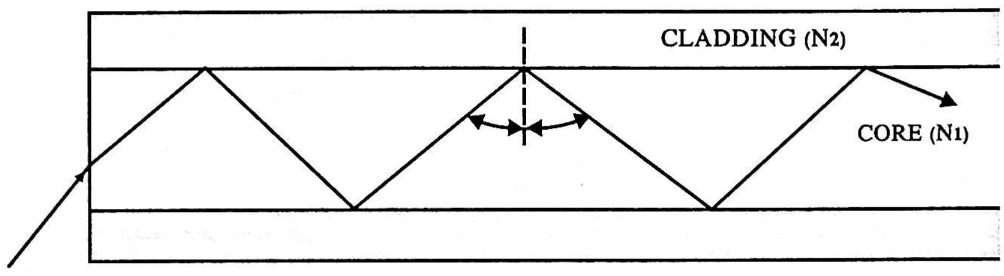
כאשר אור נע בתוך חומר מסויים, מהירותו **(V)** נמוכה יותר ממהירות התפשטות האור בואקום **(C)**. היחס בין המהירויות, הנקרא "מקדם השבירה", שונה מחומר לחומר **(N=C/V)**. לדוגמא: מקדם השבירה של מים הוא 1.33 ושל זכוכית - 1.5.

התפשטות האור בסיבים אופטיים מבוססת על **עקרון ההחזרה הפנימית המלאה** (ראה ציור 15.1). נניח שקרן אור עוברת מחומר **N1** לחומר **N2** (כאשר **N2<N1**). כל זמן שהקרן פוגעת בזויות קטנות (הנמדדות ביחס לאנך) היא "נשברת" ומתרחקת מהאנך. קיימת זוית מסויימת, הנקראת "זוית קריטית" שבה הקרן הנשברת נעה במקביל למשטח הגבול שבין שני החומרים. פגיעה בזוית הגדולה מהזוית הקריטית, גורמת להחזרה מלאה בחומר **N1** (כלומר הצפוף יותר מבחינה אופטית).



ציור 15.1 - שבירה והחזרה של קרן אור

הסיב האופטי הבסיסי בנוי מגליל **(Core)** בעל מקדם **N1**, וסביבו שכבה גלילית נוספת (הנקראת **Cladding**), בעלת מקדם **N2**. אם **N2<N1**, הרי קרן-אור המוזרקת ל-**Core** ופוגעת במשטח הגבול בזוית הגדולה מהזוית הקריטית - **תוחזר כולה** לתוך חלל ה-**Core**. התוצאה היא שקרן האור נעה בצורת זיג-זג בתוך ה-**Core** (ציור 15.2).



ציור 15.2 - התפשטות קרן-אור בתוך סיב

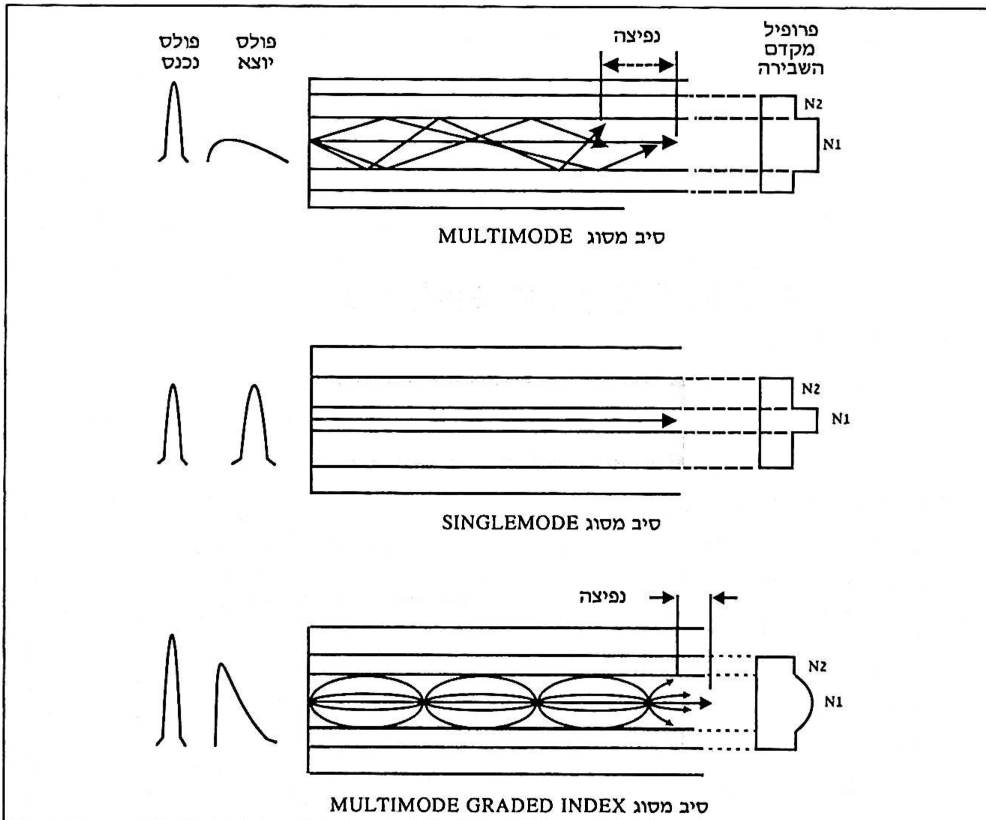
3. סוגי סיבים אופטיים

הסיבים האופטיים נחלקים ל-3 סוגים עיקריים (ראה ציור 15.3):

א. **Multimode Step Index**: קוטר ה-Core הוא גדול יחסית (50-100um) והאור נע בו בהרבה אופנים (Modes). קרניים שונות שעזבו את מקור האור באותו זמן, יתקדמו בסיב בצורות שונות, ויגיעו לקצה במועדים שונים. לתופעה הזאת קוראים "נפיצה" (Dispersion) והיא גורמת לכך שפולס חד בכניסה - "נמרח" ביציאה.

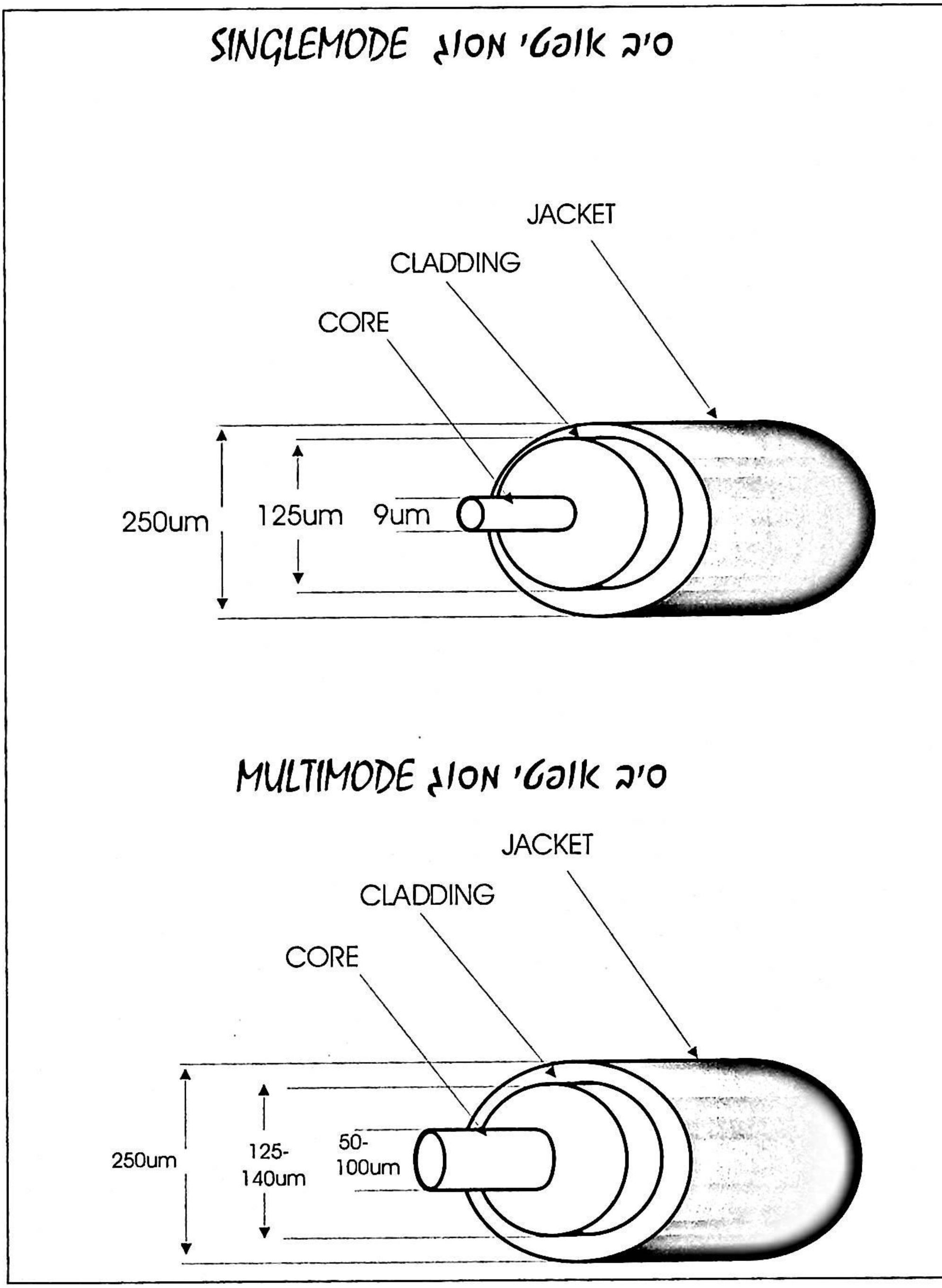
ב. **Singlemode Step Index** (או Monomode): עובי ה-Core דק מאוד (2-10um) וע"י כך מאלצים את קרני האור לנוע באופן (Mode) אחד בלבד. סיבים אלה הם מאוד יעילים ומשמשים לתקשורת בקצבים גבוהים למרחקים גדולים. לדוגמה, כבל המשמש ל-FDDI מסוג SMF-PMD (ראה סעיף 5 בפרק יד) מוגדר כ-8.7/125um, כאשר המספר הראשון הוא קוטר ה-Core, והמספר השני - קוטר ה-Cladding.

ג. **Multimode Graded Index**: ה-Core בנוי בצורה שמקדם השבירה (N1) הולך וקטן ככל שמתרחקים מהמרכז. מאחר ומהירות האור גדלה ככל ש-N יותר נמוך, מגיעות כל הקרניים כמעט באותו הזמן, ותופעת הנפיצה מוקטנת מאוד לעומת סיבים מסוג א'.



ציור 15.3 - סוגי סיבים אופטיים

לסיכום ניתן לאמר שסיבים מסוג א' הם זולים, ומשמשים לשידור אותות בעלי רוחב סרט נמוך למרחקים קצרים. סיבים מסוג ב' הם היקרים ביותר וביצועיהם טובים ביותר. לסיבים מסוג ג' יש תכונות ביניים (ומחיריהם בהתאם). קיים גם סיב זול מפלסטיק, הנקרא **LCF-PMD** בטרמינולוגיה של **FDDI** (סעיף 5, פרק יד), ומידותיו **200/230um**. ציור 15.4 מתאר את המבנה הפיזי של הסיבים.



ציור 15.4 - המבנה הפיזי של הסיבים

4. שימושי סיבים אופטיים

שימושי הסיבים האופטיים בתקשורת הם רבים ומגוונים:

א. **תקשורת רחבת-סרט לטווחים ארוכים**

חברות הטלפונים (כדוגמת "בזק") מתקינות מערכות סיבים אופטיים המשדרות נתונים בקצבים גבוהים בין הערים השונות כתשתית תקשורת לאומית (במקום המערכות הקואקסיאליות). קצבים אלה יכולים להגיע עד מאות ואלפי מסל"ש. כבר צויין קודם כי "בזק" מפעילה עורקים אופטיים בקצבים של 2.5 גסל"ש.

ב. **כבלים תת-ימיים**

כל הכבלים התת ימיים המותקנים בשנים האחרונות מבוססים על סיבים אופטיים. הכבל הטראנס-אטלנטי הראשון (TAT-1) שהיה מבוסס על נחושת, הכיל 36 אפיקי טלפון בלבד. לעומתו, הכבל TAT-8 שהותקן בשנת 1988, מכיל 3 זוגות סיבים אופטיים הפועלים בקצב 280Mbps כל אחד (שוה ערך לכ-8000 אפיקי טלפון). הכבל התת-ימי הבא (TAT-9) מכיל סיבים הפועלים בקצב של 565Mbps.

ג. **תקשורת נתונים לטווחים קצרים**

קיימים בשוק מודמים אופטיים, המסוגלים להעביר מידע בקצב גבוה, למרחקים קצרים ובינוניים. לדוגמא, מודמים מיניאטורים של "רד" המשדרים נתונים בקצבים של 64 קסל"ש על זוג סיבים, למרחק של עד 3 ק"מ (ללא צורך במקור מתח חיצוני). כמו כן קיימים מודמים אופטיים, המסוגלים לשדר אות של 2 מסל"ש לטווחים של עד 5 ק"מ. קיימים בשוק גם מרבבים אופטיים, שהם בעצם שילוב של מרבבי TDM עם מודמים אופטיים. לדוגמה: מודמים של "רד" המסוגלים לרבב עד 48 אפיקים (בקצבים של 38.4 קסל"ש כל אחד), ולשדרם למרחק של כ-4 ק"מ על זוג סיבים.

ד. **רשתות מקומיות**

השימוש בסיבים אופטיים לרשתות תקשורת מקומיות (LAN) הולך ומתרחב בקצב מהיר. הסיבים מיושמים הן ברשתות אתרנט והן ברשתות טבעת אסימון. ברשתות אלה נפוץ מאוד לאחרונה השימוש ברכזות (Hubs), כפי שראינו בפרקים הקודמים. Hub טיפוסי מותקן בקומה (או מבנה) וכל אמצעי התקשורת מתחברים אליו, בדרך כלל בחוטים שזורים. את הרכזות הסמוכות נהוג כיום לחבר באמצעות סיבים אופטיים. לעיתים גם תחנות ברשת מתחברות ע"י סיבים, דבר המשפר את חסינות המערכת ואת אבטחת המידע שבה.

קיימות היום בשוק רכזות המאפשרות גיבוי אוטומטי של סיבים אופטיים על כל עורק, תכונה המקנה לרשת אמינות גבוהה במיוחד (כדוגמת המולטינט של חבי "מדג""). כמו כן מוצעים כיום כרטיסי PC בעלי מימשק אופטי תואם. השימוש בסיבים אופטיים עד הקצה, מעלה בצורה משמעותית את חסינות המערכת.

ה. FDDI

בפרק הקודם עמדנו בהרחבה על יישומי רשת FDDI בעזרת סיבים אופטיים, המאפשרים לרשת להתפרס למרחקים של עד 100 ק"מ, וקצב עבודה של 100 מסל"ש.

ו. **מערכות SDH/SONET**

הרשתות רחבות-הסרט המתקדמות (כדוגמת רשתות ATM שכבר מופעלות בארץ ובעולם), מתבססות על תשתית סיבים אופטיים בטכנולוגיה הנקראת SDH (באירופה) או SONET (בארה"ב). קצבי העבודה התקניים של מערכות SDH הם:

- STM-1 : 155 מסל"ש
- STM-4 : 622 מסל"ש
- STM-16: 2,488 מסל"ש (2.488 גסל"ש)
- STM-64 : 10 גסל"ש

מערכות SDH/SONET פועלות בצורה סינכרונית, והקצבים הגבוהים מחייבים עבודה בסיבים אופטיים ביישומי תשתית (אם-כי ניתן להשתמש בחוטי נחושת למרחקים קצרים, כגון: חיבור תחנות לרכזת). את מערכות SDH נכיר באחד הפרקים הבאים, וכן את רשתות ATM.

5. סיכום פרק ט"ו

לסיבים האופטיים יתרונות רבים בתקשורת, ובמיוחד: ניחות נמוך, רוחב-סרט גבוה, חסינות בפני הפרעות ובטחון מידע. תכונות אלה הפכו את הסיבים לתווך עיקרי בתמסורת בין-עירונית (כגון חיבור בין מרכזות "בזק") וכן להתקנות בתוך קמפוסים. הסיבים מתאימים במיוחד ליישומים צבאיים, עקב הקושי להאזין להם.

ראינו שקיימים 3 סוגים עיקריים של סיבים:

- **Multimode Step Index**, סיבים זולים המשמשים לשידור אותות בעלי רוחב-סרט נמוך למרחקים קצרים.
- **Singlemode Step Index**, סיבים יקרים המתאימים לתשתית בין-עירונית (רוחב סרט גבוה ומרחקים גדולים).
- **Multimode Graded Index**, סיבים בעלי תכונות ביניים.

לסיבים יש הרבה שימושים בתקשורת, כגון:

- תמסורת בין-עירונית
- רשתות מקומיות (LAN)

- FDDI
- כבלים תת-ימיים
- SDH/SONET

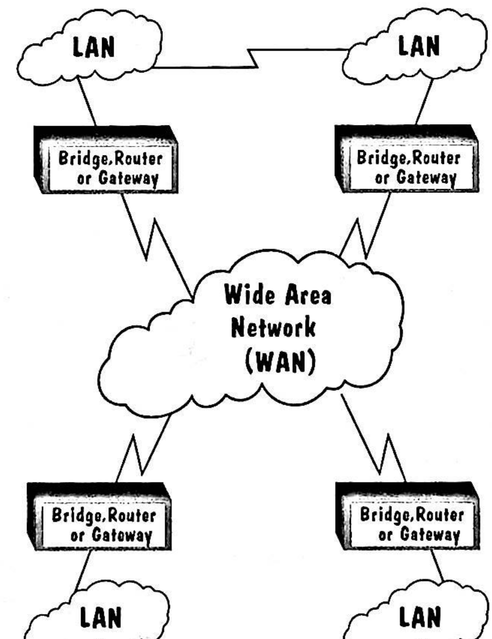
מכל הסיבות שצויינו לעיל, התקנות סיבים אופטיים עולות בהתמדה, ועלותם יורדת.

פרק ט"ז - חיבור בין רשתות
(Internetworking)

1. הקדמה

בשנות ה-80 נקבע מעמדן של הרשתות המקומיות (**LAN**) כשיטה המועדפת לחיבור מקומי של מחשבים ותחנות עבודה לצורך פעולה הדדית, שיתוף משאבים וגישה לציוד הקפי. המשתמשים, שזה מכבר עברו לשיטת העיבוד המבוזר, הכירו ביתרונות הרבים של ה-**LAN**: ביצועים טובים, מחירים הולכים ויורדים, שרידות, אמינות, שיטות כבילה אחידות ותמיכה בתקנים בינלאומיים. תעשיית הרשתות המקומיות פרחה, והן כבשו את מקומן במשרדים, מפעלים, קמפוסים ועוד, עד כי כמעט ואי אפשר למצוא כיום סביבת מחשוב שאינה כוללת **LAN** מסוג כלשהו. רשתות מקומיות התפתחו בסניפים מרוחקים של ארגונים, ובאופן טבעי התעורר הצורך ליצור קשר בין הרשתות המבוזרות הללו, כדי לאפשר לארגונים לתפקד בצורה יעילה.

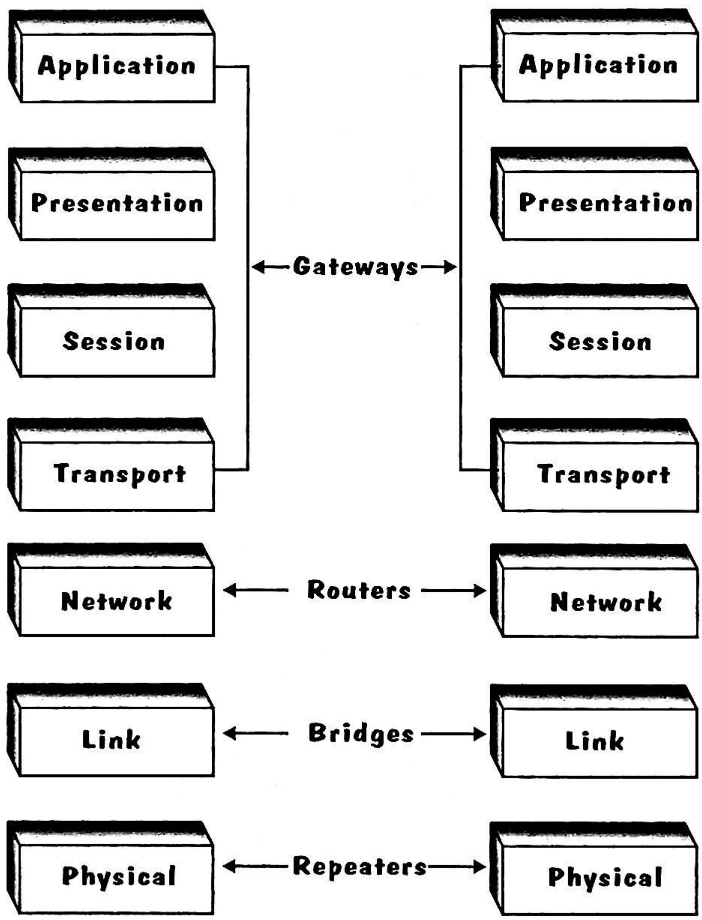
האלמנטים המאפשרים חיבור בין רשתות נקראים **Internetworking Devices**, והם מחברים בין הרשת המקומית (אחת או כמה) לבין הרשת המרחבית (**WAN**). הרשת המרחבית יכולה להיות מסוג **TDM** (כגון "סיפרנת"), המספקת קו בקצב קבוע בין שני האלמנטים, או מסוג אחר, כגון: **FR** או **ISDN**. ייתכן גם שימוש ברשת **WAN** אחת באופן קבוע, וגיבוייה בעזרת **ISDN** במקרה של תקלה או עומס יתר. ציור 16.1 מתאר באופן סכמטי חיבור בין רשתות.



ציור 16.1 - חיבור בין רשתות

אלמנטי החיבור בין רשתות מסווגים בהתאם לאופי פעולתם לפי מודל 7 השכבות של ה-OSI (ראה ציור 16.2):

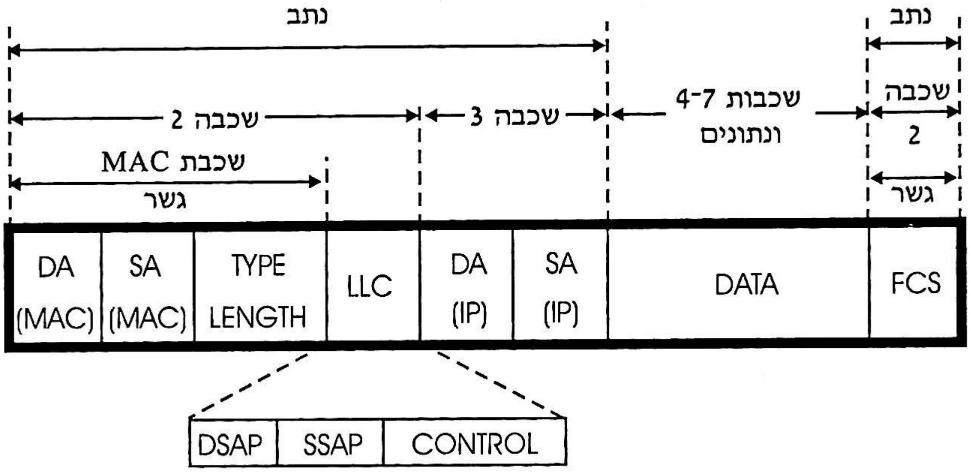
- **משחזרים** (Repeaters) - פועלים ברמה התחתונה, השכבה הפיזית.
- **גשרים** (Bridges) - פועלים בשכבה השניה, שכבת ה-Data Link, או ליתר דיוק בתת-שכבה הנקראת MAC.
- **נתבים** (Routers) - פועלים בשכבה השלישית, שכבת ה-Network.
- **שערים** (Gateways) - פועלים ברמות הגבוהות, והם בעצם ממירי פרוטוקולים.



ציור 16.2 - סווג אלמנטי החיבור

כאשר מחברים שתי רשתות מקומיות באמצעות אלמנט כלשהו, אנו מאפשרים לתחנה הנמצאת על LAN 1 לשדר מסגרת (Frame) לתחנה אחרת המחוברת ל-LAN 2. כאשר המסגרת עוברת דרך אלמנט החיבור יש לו אפשרות גישה למידע הנמצא בתוך המסגרת בהתאם לאופי האלמנט: גשר, לדוגמה, יכול לקרוא רק את המידע הכלול בכותרת MAC של שכבה 2. נתב יכול לקרוא את המידע הכלול בשכבה 3 (לדוגמה כתובות בפרוטוקול IP של TCP/IP שהן כתובות הרשת של המסגרת). ציור 16.3 ממחיש זאת.

יש לציין שמסגרת יכולה לעבור מספר אלמנטים ורשתות בדרך מהמקור ליעד.

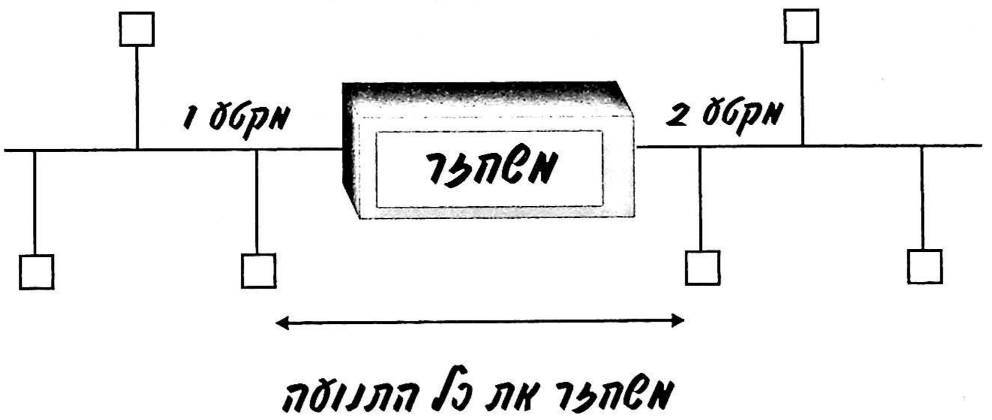


ציור 16.3 - הרשאות הגישה של אלמנטי החיבור

2. משחזרים (Repeaters)

ראינו בפרקים על רשתות מקומיות כי קיימות לגביהן מגבלות שונות של טווחים ומספר תחנות שמותר לחבר. מקטע (Segment) אתרנט קואקסיאלי, לדוגמה, יכול להגיע למרחק מקסימלי של 500 מטר. אם משתמשים בכבל ארוך יותר האות נחלש, מקבל עוותים ואינו ניתן לקליטה. משחזר (Repeater) מאפשר לחבר שני מקטעים כאלה ולהאריך את טווח הפעולה של הרשת מבלי לפגוע באיכות התמסורת (ראה ציור 16.4).

הערה: בציורים הבאים התעלמנו מסיימי הרשת (Terminators).



ציור 16.4 - משחזר

משחזרים הם אלמנטים פשוטים יחסית, הפועלים ברמה הנמוכה ביותר של מודל OSI, בשכבה הפיזית. תפקידם להגביר ולשחזר את האות הקיים בקצה מקטע אחד של הרשת, ולשדרו למקטע השכן. משחזרים יכולים לפעול רק בין מקטעים בעלי **אותה שיטת גישה** (כגון: אתרנט או טבעת-אסימון) **ואותו קצב שידור**. המשחזרים מעבירים את כל המסגרות מצד לצד ואין להם כל יכולת סינון. השימוש הנפוץ שלהם הוא לחבר בין מקטעי רשת הנמצאים באותו בנין או קמפוס לצורך הגדלת טווח הפעולה של הרשת. מגבלות המשחזרים הן יכולתם לחבר רשתות זהות בלבד והגדלת העומס על הרשת המורחבת. יתרונם הוא פשטותם ומחירם הזול יחסית.

3. גשרים (Bridges)

גשרים מחברים רשתות מקומיות ברמת ה-Data Link (השכבה השניה) של מודל OSI. שכבה זו אחראית לשידור המידע בין צמתות ברשת ופרוטוקולים מיוחדים פותחו לצורך כך (כדוגמת HDLC או SDLC ברשתות מרחביות). ברשתות מקומיות, בהתאם לתקני IEEE 802, מחולקת השכבה השניה לשתי תת-שכבות:

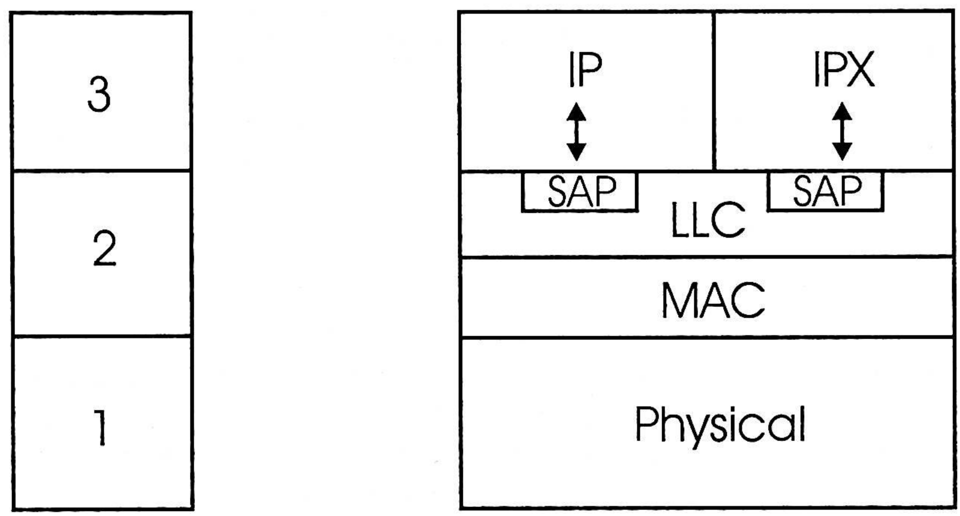
- LLC (Logical Link Control) - תת שכבה המשותפת לכל תקני IEEE 802, המאפשרת לפרוטוקולים עיליים לפעול ללא תלות בסוג ה-LAN. בשכבת ה-LLC מוגדרות נקודות גישה (Service Access Point-SAP) שדרך כל אחת מהן אפשר להתקשר לתחנה אחרת ברשת (ראה ציורים מס' 16.3 ו-16.5), ולכן ניתן לדמות את פונקצית ה-LLC לזו של מרבב. לכל SAP יש כתובת (SSAP - תחנה משדרת, DSAP - תחנת יעד) וכתובות אלה מופיעות בשדה LLC בתוך מסגרת השידור ומציינות באיזה פרוטוקול עילי משתמשים.

שים-לב שכתובות SAP וכתובות התחנות הן שני דברים שונים. כתובת MAC היא כתובת פיזית הצרובה על כרטיס הרשת. כתובת SAP מציינת מהו הפרוטוקול שנמצא בתוך המסגרת, לדוגמה:

פרוטוקול IP – SAP=06 (בכתיב הקסאדצימלי)

פרוטוקול IPX – SAP=E0

פרוטוקול SNA – SAP=04



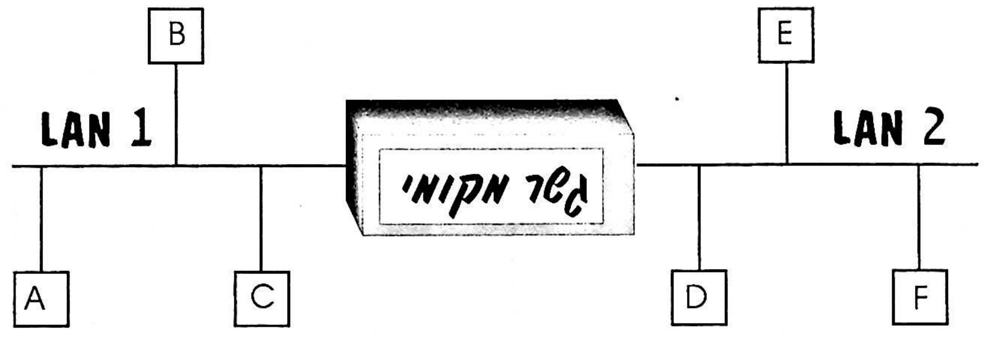
ציור 16.5 - שכבות הפרוטוקולים

- **MAC (Media Access Control)** - תת-שכבה המטפלת בשיטת הגישה לרשת, כדוגמת אתרנט וטאו״ס. בתת-שכבה זו מוסיפים למסגרת (המגיעה מתת-שכבת LLC) מספר שדות הכוללים את כתובת התחנה המשדרת (SA), כתובת היעד (DA) ומידע נוסף (ראה ציור 16.3).

גשרים פועלים בתת-שכבה MAC, ולכן הם נקראים לעיתים MAC Bridges. גשר יכול לקרוא את המידע הכלול בתת-שכבה MAC, ויכול להחליט האם להעביר את המסגרת לרשת השניה, או לא, בהתאם לכתובת היעד (DA). לכן לגשרים יש יכולת סינון (Filtering) שאינה קיימת במשחזרים. תכונה זו מנוצלת לעיתים לצורך חלוקת רשתות עמוסות ל-2 (או יותר) רשתות קטנות ועמוסות פחות. החלוקה גורמת לכך שהתנועה הכללית ברשת פוחתת, משום שכעת רוב התנועה בין התחנות היא מקומית (על אותן LAN).

איך עובד גשר?

כאמור לעיל, מותר לגשר לקרא רק את המידע בתת-שכבה MAC, כלומר את הכתובות הפיזיות SA ו-DA. בגשר נמצאת טבלה, שבה רשומות כל הכתובות השייכות ל-LAN1, וכל הכתובות השייכות ל-LAN2 (ראה ציור 16.6).

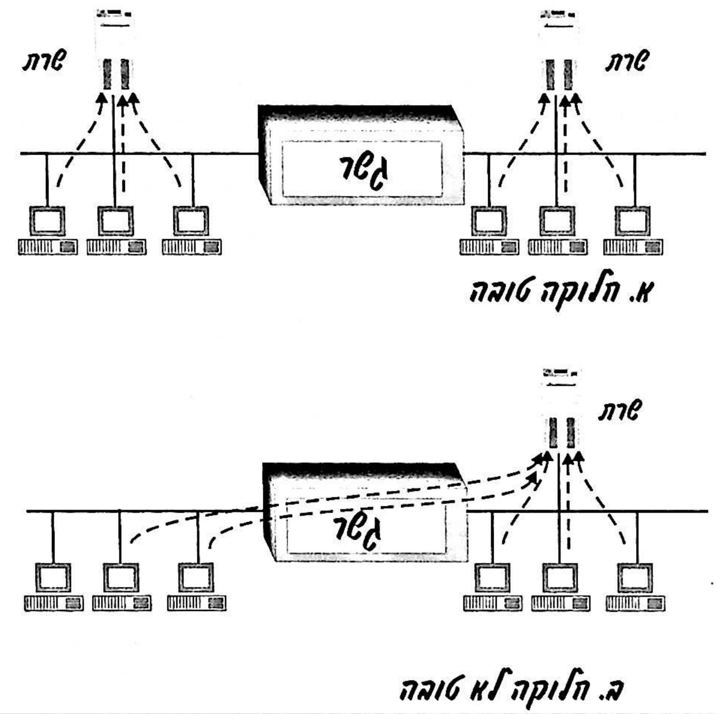


ציור 16.6 - פעולת הגשר

נניח שלאחר הפעלת הרשת תחנה A שידרה מסגרת לתחנה C. הגשר לומד (לפי כתובת SA של A) כי תחנה A נמצאת ב-LAN 1, ולכן הוא רושם את כתובתה בטבלה תחת LAN1. מאחר ובשלב זה הגשר עדיין אינו יודע היכן תחנה C, הוא מעביר את המסגרת ל-LAN2 (פעולה הנקראת Forwarding). תחנה C עונה לתחנה A, וכעת הגשר לומד שגם תחנה C נמצאת ב-LAN 1, ורושם את כתובתה תחת LAN1. אם כעת תשודר מסגרת נוספת מ-A ל-C, הגשר לא יעביר אותה ל-LAN2, מאחר וכבר ידוע לו ששתי התחנות נמצאות על LAN1 (פעולה הנקראת Filtering). בצורה כזאת הגשר לומד בצורה דינאמית ושקופה מיהן התחנות ברשת, והיכן הן נמצאות, כמתואר בטבלה הבאה.

מסגרת	LAN2	LAN1	פעולה
A אל C		A	Forward
C אל A		C	Filter
A אל C			Filter
B אל D		B	Forward
D אל B	D		Forward
E אל C	E		Forward
D אל E			Filter

זמן קצר לאחר הפעלת הרשת (בהנחה שכל התחנות עובדות) הגשר משלים את טבלת הכתובות. כעת, מסגרות השייכות ל-LAN1 לא תעבורנה ל-LAN2, ולהיפך. הגשר חילק למעשה את הרשת הגדולה לשתי רשתות קטנות ופחות עמוסות. חלוקה כזאת לשתיים (או יותר) רשתות קטנות מבצעים כאשר הרשת הגדולה מגיעה לסף ההעמסה שלה (לדוגמה: 35% ברשת אתרנט). ברור שיש לבצע את החלוקה באופן הגיוני: למשל, לדאוג שלאחר החלוקה יהיה בכל צד שרת משלו, המשרת את רוב התחנות במקטע שלו. אם לאחר החלוקה יש ברשת שרת אחד וכל התחנות ממשיכות לפנות אליו - התנועה ברשת לא תקטן והגשר הוא למעשה מיותר. בעת מעבר המסגרות דרכו הגשר בודק את שדה ה-FCS, ומשמיט מסגרות שאינן תקינות. בצורה כזאת הגשר משפר את "נקיון" הרשת.



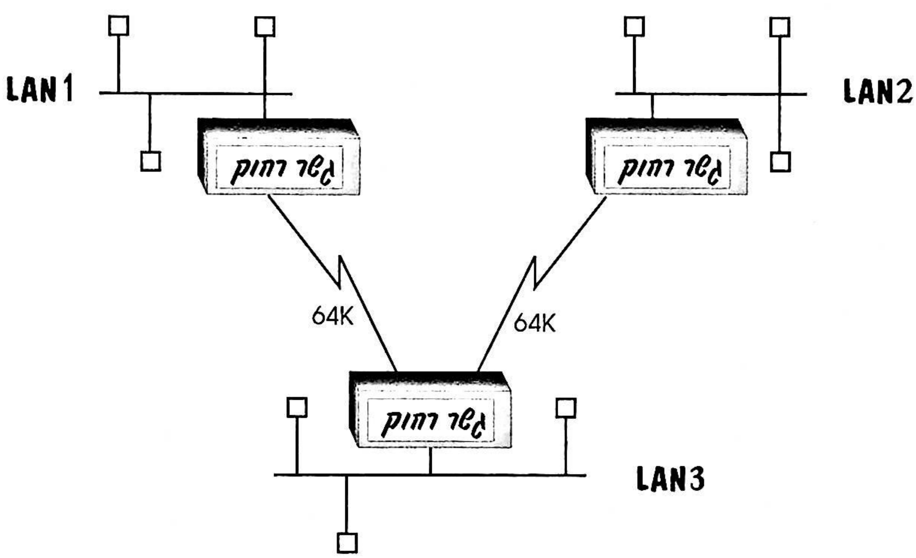
ציור 16.7 - חלוקת רשת

כאשר הגשר מעביר מסגרת מצד לצד (תהליך Forwading) הוא משאיר את זוג הכתובות DA/SA ללא שינוי, כדי שהמסגרת תגיע ליעדה. ברור שהגשר משאיר ללא שינוי את שדה ה-LLC ואת כל שכבות הפרוטוקולים הגבוהות יותר, ולכן גשרים הם **שקופים לפרוטוקולים עיליים**. גשרים יעבירו ללא שינוי כל פרוטוקול תקשורת עילי, כגון: TCP/IP, IPX, DECNET וכו׳. גשרים מחברים רשתות LAN **מאותו הסוג** (לדוגמה: אתרנט לאתרנט, או טא״ס לטא״ס). באופן תאורטי גשר יכול לחבר רשתות מסוגים שונים, אבל הדבר דורש יכולת עיבוד נוספת ולכן בדרך-כלל אינו נעשה (לדוגמה: באתרנט וטא״ס שיטת ספרור הסיביות של הכתובות היא הפוכה והגשר חייב להפוך כל כתובת). גשרים מהסוג שתואר לעיל נקראים ״גשרים שקופים״ (Transparent Bridges) או ״גשרים לומדים״ (Learning Bridges), והם מקובלים בעיקר ברשתות אתרנט. ברשתות טא״ס מקובל להשתמש בשיטת ״ניתוב מקור״ (Source Routing) שנכיר אותה בהמשך.

מקובל לסווג גשרים בהתאם לטופולוגיה שלהם:

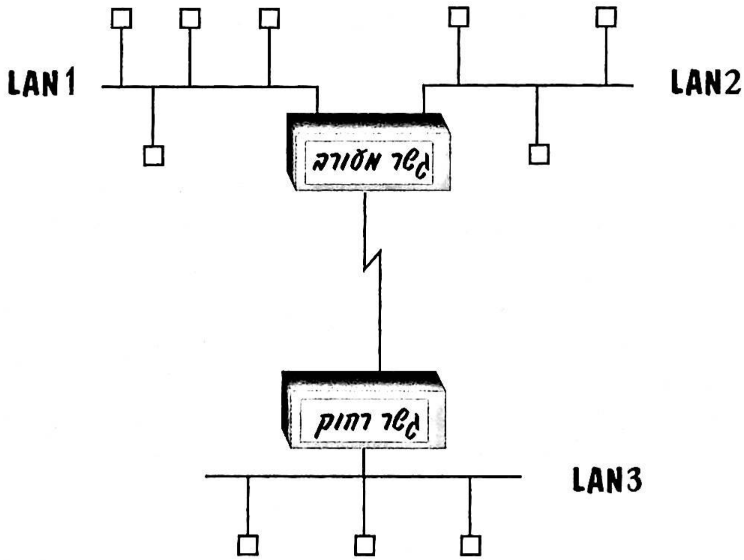
א. **גשרים מקומיים** (Local Bridges) - מחברים בין רשתות הנמצאות באותו אתר (ראה ציור מס׳ 16.6). שרתים (כדוגמת שרת ״נובל״) יכולים גם הם לתפקד כגשרים מקומיים, אם מופעלת בהם תוכנת גישור.

ב. **גשרים רחוקים** (Remote Bridges) - מחברים רשתות הנמצאות בריחוק זו מזו. גשר רחוק יכול לפעול מול גשר רחוק אחר או מספר גשרים רחוקים (ציור מס׳ 16.8).



ציור 16.8 - גשרים רחוקים

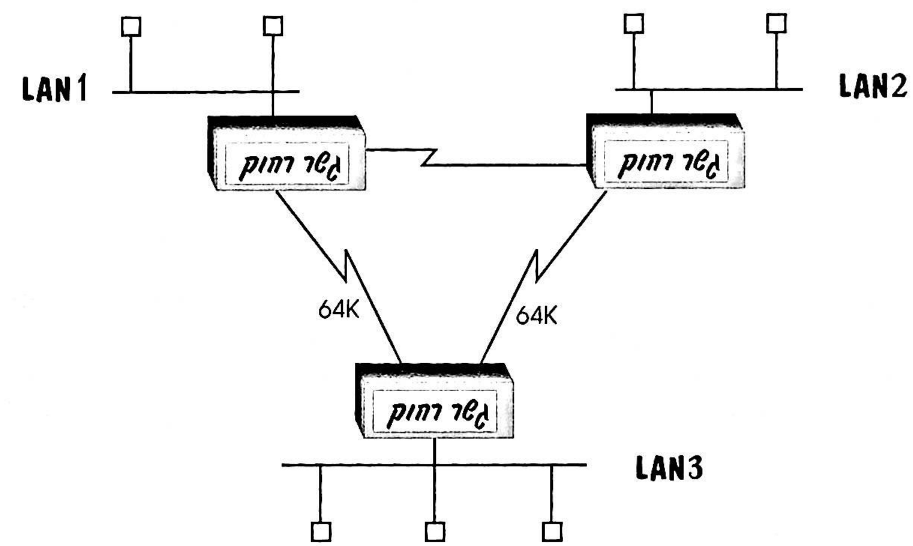
ג. **גשרים מעורבים** (Composite Bridges) - גשרים המחברים בין רשתות מקומיות וכן בינן לבין רשתות מרוחקות (ראה ציור 16.9).



ציור 16.9 - גשרים מעורבים

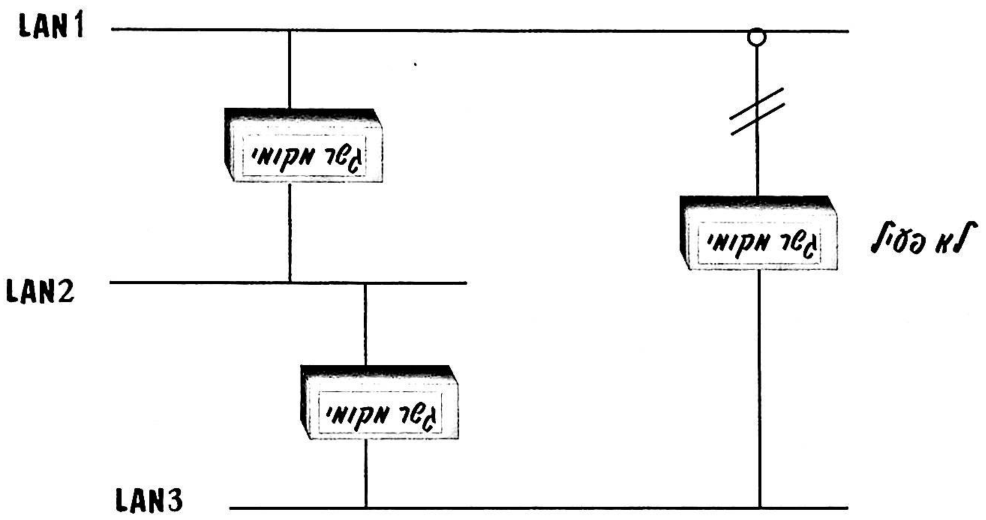
4. שיטות ניתוב בגשרים

ככל שהרשתות גדלו, כן גדל גם מספר הגשרים בכל רשת והקישורים ביניהם. גשר יכול להתחבר לכמה גשרים אחרים, וייתכן מצב שבו נוצרת לולאה (Loop), הגורמת למסגרות להסתובב ברשת ולהוריד את ביצועיה (תופעה הנקראת Broadcast Storm). המסלולים הנוספים נחוצים לצורך העלאת שרידות הרשת ואמינותה, ולכן אי אפשר לוותר עליהם. לדוגמה, בציור 16.10 מתוארת רשת בטופולוגייה של משולש. אם קו התקשורת בין LAN1 ו-LAN2 נפל, עדיין הרשת מסוגלת לתפקד, כיוון שהמסגרות יעברו דרך LAN3.



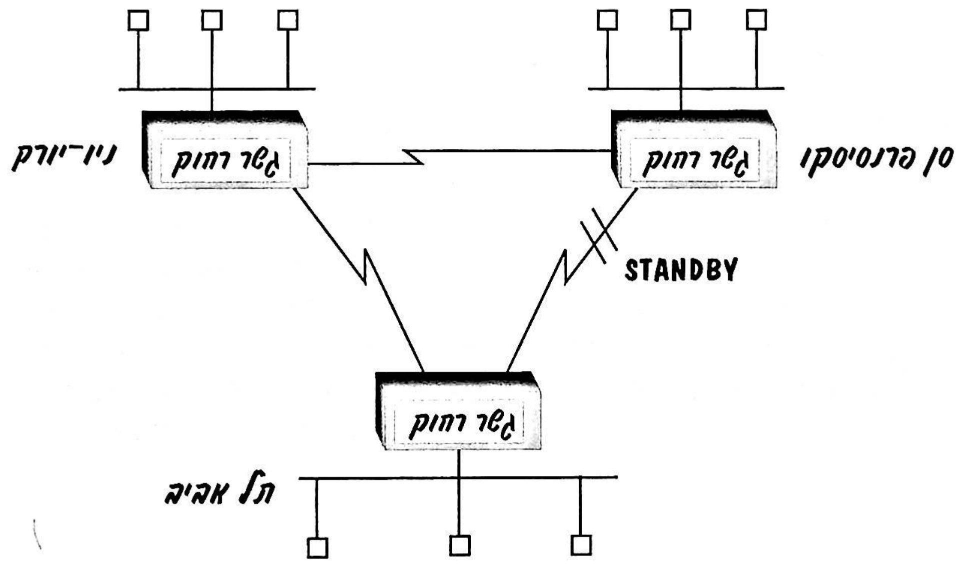
ציור 16.10 - גשרים בחיבור משולש

לכן יש צורך בשיטת ניתוב שתאפשר להשתמש במסלולי גיבוי, אבל תמנע היווצרות לולאות. לגבי **גשרי אתרנט מקומיים**, נקבע ע"י ה-IEEE תקן הנקרא 802.1-D, המגדיר ניתוב בשיטת STP (Spanning Tree Protocol). בשיטה זאת מגדירים "עץ" הכולל את כל הגשרים, אך אינו כולל נתיבים הסוגרים לולאות. בציור מס' 16.11, לדוגמה, הגשר בין LAN1 ו-LAN3 סוגר לולאה, ולכן הוא מוגדר כלא פעיל. שלוש הרשתות מחוברות ע"י שני הגשרים האחרים היוצרים את ה"עץ". ברגע שחל שינוי טופולוגי ברשת (למשל: נתיב מסויים נפל, או נוסף גשר חדש) מעודכנים המסלולים באופן אוטומטי, כך ששוב מוגדר מסלול אחד בין כל זוג גשרים.



ציור 16.11 - יישום שיטת STP

ניתוב STP אינו מתאים לגשרים **רחוקים**, משום שתמיד קיים בו רוחב-סרט שאינו מנוצל. ציור מס' 16.12 מתאר שלושה גשרים המותקנים בשלוש ערים רחוקות. בשיטת STP, כדי למנוע היווצרות לולאה, נמצא אחד מקווי התקשורת במצב בלתי פעיל (Standby). החזקת קו תקשורת יקר ללא ניצול אינה מתקבלת על הדעת, ולכן בטופולוגיה הכוללת גשרים רחוקים מעדיפים כיום להשתמש בשיטות ניתוב יותר אינטליגנטיות.



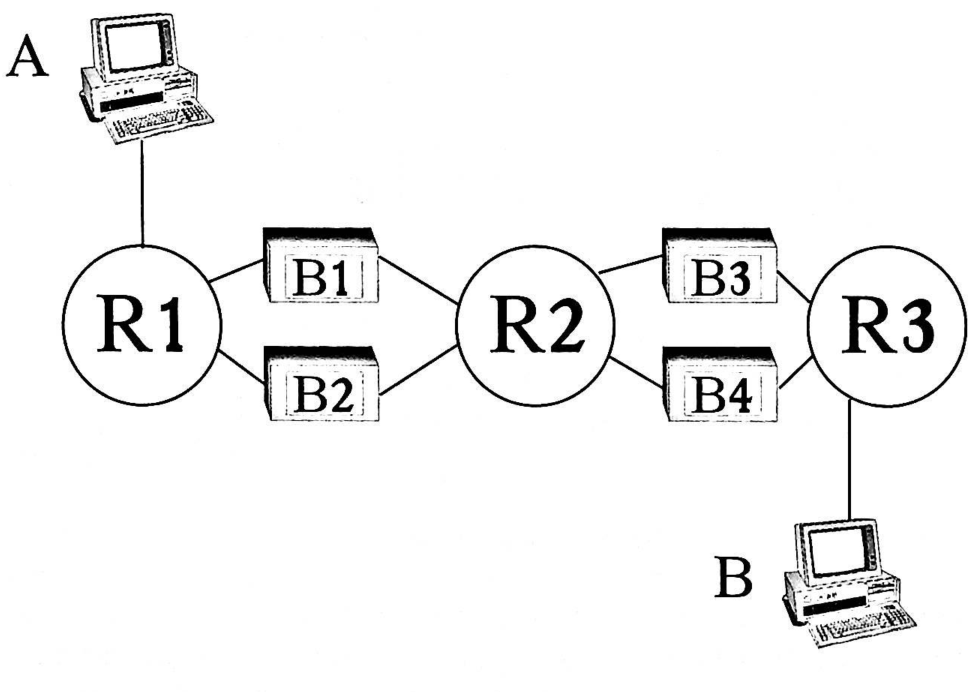
ציור 16.12 - גשרים מרוחקים עם STP

אחת השיטות המקובלות היא ניתוב SPF (Shortest Path First), שבה מנצלים באופן יעיל יותר את משאבי הרשת. ניתוב זה מקובל בחיבור בין נתבים ונחזור אליו בהמשך. שיטת ניתוב אחרת היא שיטת "חלוקת העומס" (Load Sharing), שבה מנצלים את קווי הגיבוי מבלי לגרום ליצירת לולאות. משתמשים בואריאציה של פרוטוקול STP המנצלת את אפיקי הגיבוי, ומשפרים ע"י כך את יעילות וביצועי הרשת. פרוטוקול כזה הינו פרטי (לא תקני) ולכן מוצרים של יצרנים שונים לא יעבדו זה מול זה.

בגשרי טא"ס משתמשים בשיטת ניתוב שונה לחלוטין הנקראת "ניתוב מקור" (Source Routing), הנתמכת בעיקר ע"י יבמ והכלולה אף היא בתקן IEEE 802.1D. בשיטה זאת, תחנת המקור קובעת מראש מה יהיה מסלול התנועה של המסגרת, והגשרים השונים בדרך רק מבצעים את הוראות הניתוב הכלולות במסגרת. זאת בניגוד לשיטת "הניתוב השקוף" (שתוארה קודם), שבה אחריות הניתוב חלה על הגשרים.

שיטת "ניתוב מקור" (SR) מתחילה בכך שתחנת המקור שולחת מסגרת מיוחדת הנקראת "מסגרת חיפוש" (Discovery או Explorer). כל גשר המקבל את מסגרת החיפוש, משדר אותה לכל הכיוונים האפשריים (חוץ מהכוון שממנו הגיעה), ו"מחתים" אותה. בסופו של דבר המסגרת מגיעה לתחנה המבוקשת בכמה מסלולים שונים, ותחנת היעד שולחת את כל המסגרות בחזרה, כל מסגרת באותו מסלול שממנו הגיעה.

בציור 16.13 מתוארת רשת המורכבת משלוש טבעות טא"ס המחוברות ע"י ארבעה גשרי SR.

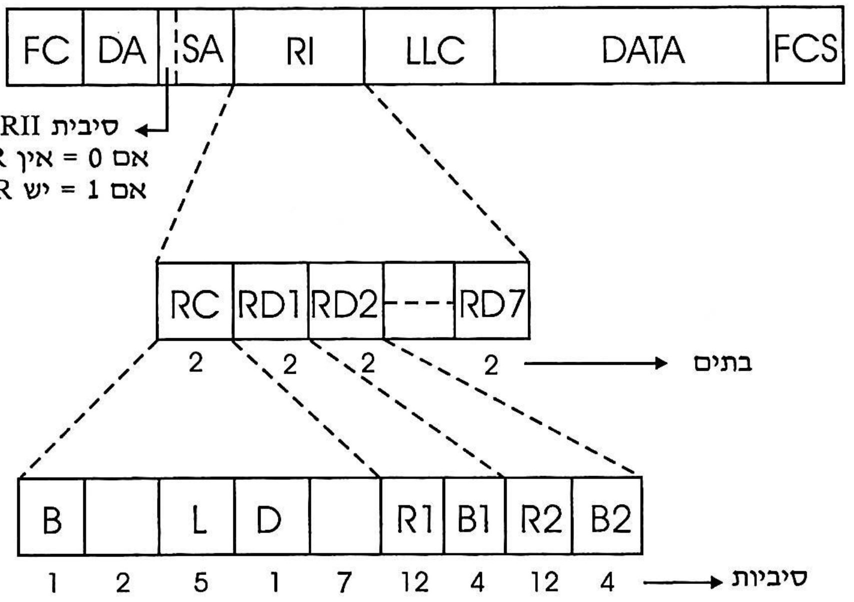


ציור 16.13 - רשתות טא"ס וגשרי SR

תחנה A מחפשת את תחנה B ומשדרת מסגרת חיפוש, המתקדמת ב-4 המסלולים הבאים:

A, R1, B1, R2, B3, R3, B
A, R1, B1, R2, B4, R3, B
A, R1, B2, R2, B3, R3, B
A, R1, B2, R2, B4, R3, B

תחנה B מחזירה ל-A את כל המסגרות (הכוללות את רישום המסלולים השונים). תחנה A בוחרת מסלול אחד, בדרך-כלל את זה שהגיע ראשון, בהנחה שזהו המסלול המהיר ביותר. כעת תחנה A מתחילה לשדר ל-B מסגרות מידע, כך שכל מסגרת כוללת את המסלול הנבחר, כמתואר בציור 16.14.



ציור 16.14 - מסגרת טא"ס עם הוראות ניתוב

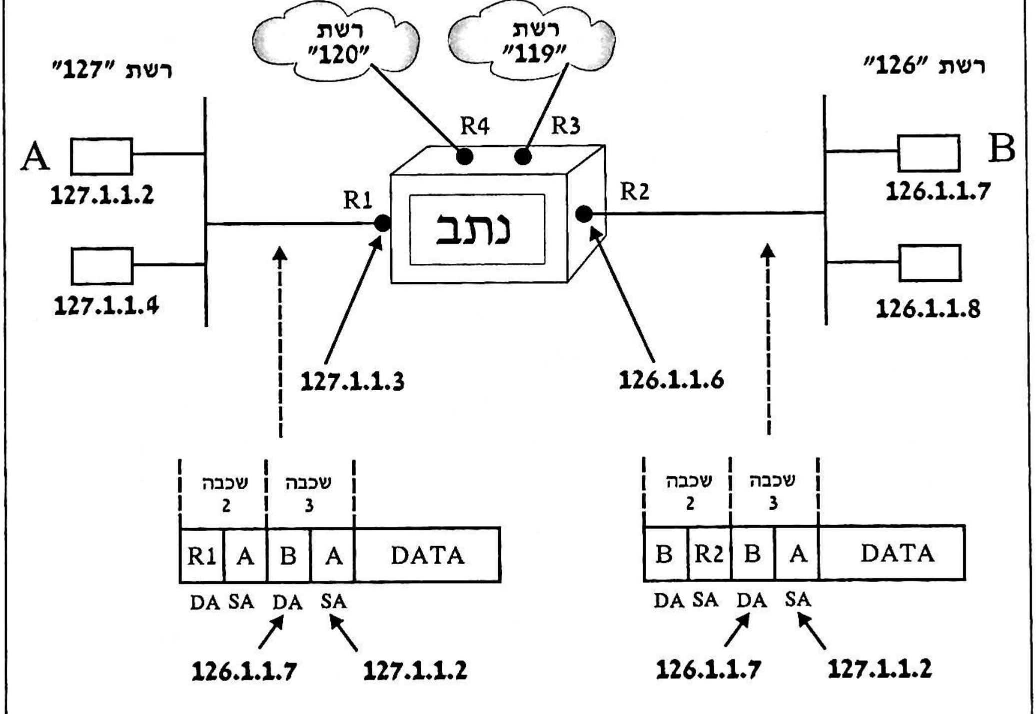
אם הסיבית הראשונה של כתובת SA (סיבית RII) היא "1", פרוש הדבר שהמסגרת כוללת נתוני ניתוב בשיטת SR. נתוני הניתוב כלולים בשדה מיוחד הנקרא RI (Routing Information), המתחיל בשדה בקרה RC (Routing Control), ולאחריו נתוני הניתוב (RD) הכוללים את מספר הטבעת (R1) ומספר הגשר (B1), וכן זוגות טבעות/גשרים נוספים.

קיימת גם שיטת ניתוב שלישית, הנקראת SRT (Source Routing Transparent), שהיא בעצם שילוב של השתיים הקודמות. גשר SRT בודק את סיבית RII (ראה ציור 16.14) בכל מסגרת נקלטת. אם RII=0, הגשר מפעיל על המסגרת ניתוב שקוף, ואם RII=1 הגשר מפעיל פרוטוקול של ניתוב מקור. גשר SRT תומך **בשני הפרוטוקולים**, והוא מפעיל אחד מהם בהתאם לסיבית RII. לכן גשרי SRT יכולים להשתלב בסביבה "שקופה" או בסביבת גשרי SR. ה-SRT מוגדר בתקן IEEE 802.5 M, שהוא נספח לתקן 802.1D (המגדיר את הניתוב השקוף וניתוב SR).

5. נתבים (Routers)

נתבים הם מתגי-מנות הפועלים בשכבת הרשת (השכבה השלישית). לנתבים מותרת הגישה למידע בשכבה השלישית, שבה מוגדרות כתובות **הרשת** (IP לדוגמה) של התחנות, כפי שתואר בציור 16.3. לגשרים מותר לקרא רק את כתובות MAC, שהן כזכור כתובות הצרובות על כרטיסי הרשת, ולמנהל הרשת **אין אפשרות** לשנותן. לעומת זאת, הכתובות בשכבה השלישית מנוהלות ע"י מנהל הרשת, והוא מגדיר בעזרתן תת-רשתות לוגיות. הנתב, כשהוא קורא את כתובת IP של תחנת היעד, יודע לאיזה תת-רשת היא שייכת, ויכול לבצע החלטת ניתוב הרבה יותר "אינטליגנטית" מאשר הגשר.

לנתב יש מספר כתובות ברמה השנייה (לפי כרטיסי הרשת שלו) וכן ברמה השלישית. למעשה, בכל מבוא יש לנתב כתובות ברמה השניה והשלישית, כמתואר בציור 16.15 (את כתובות IP נכיר בהמשך).



ציור 16.15 - פעולת הנתב

נניח שתחנה A ברשת "127" (רשת IP) רוצה לשדר מסגרת לתחנה B ברשת "126" (רשת IP אחרת). הכתובות בשכבה השניה הן: אל-R1 (הכתובת הפיזית של המבוא השמאלי של הנתב), מאת - A (כתובת פיזית של A). הכתובות בשכבה השלישית של המסגרת יהיו: אל-B (126.1.1.7), מאת A (127.1.1.2). במוצא הימני של הנתב יופיעו הכתובות הבאות בשכבה השנייה: אל-B (כתובת פיזית של B), מאת-R2 (הכתובת הפיזית במוצא הימני). בשכבה השלישית יופיע: אל B (126.1.1.7) מאת-A (127.1.1.2).

מאחר והמסגרת ששידרה תחנה A הופנתה לנתב, הנתב יקלוט אותה, יפענח את כתובת היעד בשכבה השלישית (126.1.1.7), יחליט באיזה מוצא לשלוח את המסגרת (R2), ויוסיף בהתאם שכבה 2 חדשה, הכוללת את הכתובות הפיזיות של R2 ו-B. חשוב לציין כי הנתב אינו משנה את המידע הכלול בשכבה השלישית, אלא רק מסוגל לקרא אותו.

מאחר והשכבה השלישית היא חלק מפרוטוקול התקשורת העילי (לדוגמה: פרוטוקול **IP** הוא חלק מ-**TCP/IP**), הנתבים צריכים להיות מותאמים לפרוטוקולים מסויימים, וזה אחד ההבדלים העיקריים בינם לבין גשרים. גשרים (כפי שראינו לעיל) הם שקופים לפרוטוקולים מהשכבה ה-3 ומעלה, כיוון שהם פועלים בתת-שכבה **MAC** ואינם אמורים לקרא את המידע הכלול בשכבה ה-3 . נתבים, לעומת זאת, חייבים להיות מצויידים באמצעים לפענוח המידע הכלול בשכבה ה-3 ולכן הם **Protocol - Dependent**. נתב מסויים יכול לטפל במסגרות של **TCP/IP**, **IPX**, או **DECNET**, בהתאם לתוכנה שהוטענה עליו, אך אינו שקוף לחלוטין לפרוטוקולים.

קיימים פרוטוקולים (כדוגמת **LAT** של **DEC**) שאינם מכילים מידע בשכבה ה-3 ולכן אין אפשרות לטפל בהם באמצעות נתב. פרוטוקולים כאלה אפשר רק להעביר באמצעות גשר שהוא, כאמור, שקוף לפרוטוקולים עיליים. מסיבה זאת, קיימים בשוק גשרים אינטליגנטיים שיש להם גם חלק מתכונות הנתבים והם נקראים **Brouters**. גשרים אלה מסוגלים לבצע פונקציות כגון: חלוקת עומסים (**Load Sharing**), איזון עומסים (**Load Balancing**), הקצאת עדיפויות לפרוטוקולים מסויימים, ניתובים אלטרנטיביים, אבטחת גישה (**Security**) ועוד. נתבים הנתקלים במסגרות שאינן ניתנות לניתוב, יפעלו כגשרים לגבי מסגרות אלה.

אחד הפרמטרים החשובים שבהם נמדדים נתבים וגשרים, הוא כמות המסגרות לשנייה שהם מסוגלים לטפל. רשת אתרנט מסוגלת להעביר עד 14,880 מסגרות לשנייה (או **Packets/sec-pps**), כפי שראינו בפיסקה 11 בפרק יב. גשר אתרנט חייב לסנן את כל הכמות הזאת, אבל להעביר (**Forward**) רק כ-10,000 מסגרות לשנייה, בהנחה שחלק ניכר מן המסגרות אינו עובר מצד לצד. נתבים בדרך כלל מעבירים 8000 עד 15,000 מסגרות לשנייה. יש לזכור כי גשרים ונתבים אוגרים את המסגרת בשלמותה, ואח"כ משדרים אותה הלאה (תהליך הנקרא **Store and forward**), וזה כמובן משפיע על ביצועיהם.

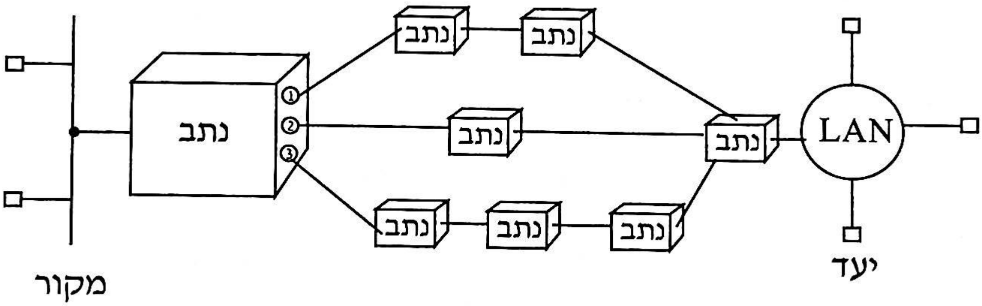
6. שיטות ניתוב בנתבים

לכל נתב ברשת יש מספר מבואות, שבהם הוא יכול לשדר מנה שהתקבלה. לכן הנתב חייב להכיל טבלה, המשייכת את הכתובות למבואות השונים, ונקראת "טבלת ניתוב". טבלת הניתוב חייבת להתעדכן כל הזמן, וזה נעשה ע"י שידור הטבלאות בין הנתבים באופן קבוע. מידע המתקבל מנתבים אחרים מאפשר לכל נתב לדעת מהו "המרחק" (כמה אפיקי תקשורת בטור), ומהו "המחיר היחסי" לכל תחנה ברשת.

קיימות שתי משפחות של פרוטוקולי ניתוב:

- פרוטוקולי וקטור - מרחק (**Distance-Vector**).
- פרוטוקולי מצב-נתיב (**Link-State**).

פרוטוקולי וקטור-מרחק מחשבים את המסלול האופטימלי בהתאם למרחק, הנמדד בכמות הנתיבים (Hops) לתחנת היעד. ציור 16.16 מתאר נתב המקבל מנה, ויכול לשדר אותה בשלושה מסלולים לכוון תחנת היעד.



טבלת ניתוב

מרחק	מוצא
3	1
2	2
4	3

ציור 16.16 - ניתוב וקטור - מרחק

טבלת הניתוב של הנתב מגדירה לכל מוצא של הנתב "מחיר", המתבטא בכמות הנתיבים הדרושים להגעה לתחנת היעד:

מוצא 1: 3 נתיבים

מוצא 2: 2 נתיבים

מוצא 3: 4 נתיבים

במקרה זה הנתב יבחר במוצא 2, שהוא המסלול בעל כמות הנתיבים הקצרה ביותר.

פרוטוקולים השייכים למשפחה זאת הם:

- **RIP (Routing Information Protocol)**, פרוטוקול ניתוב שיושם בראשונה בארכיטקטורת **XNS**, ואח"כ יושם ברשתות **Novell** ו-**TCP/IP**.

- **IGRP** - פרוטוקול שפותח ע"י **Cisco**.

- **RTMP**- פרוטוקול ניתוב בסביבת **Apple**.

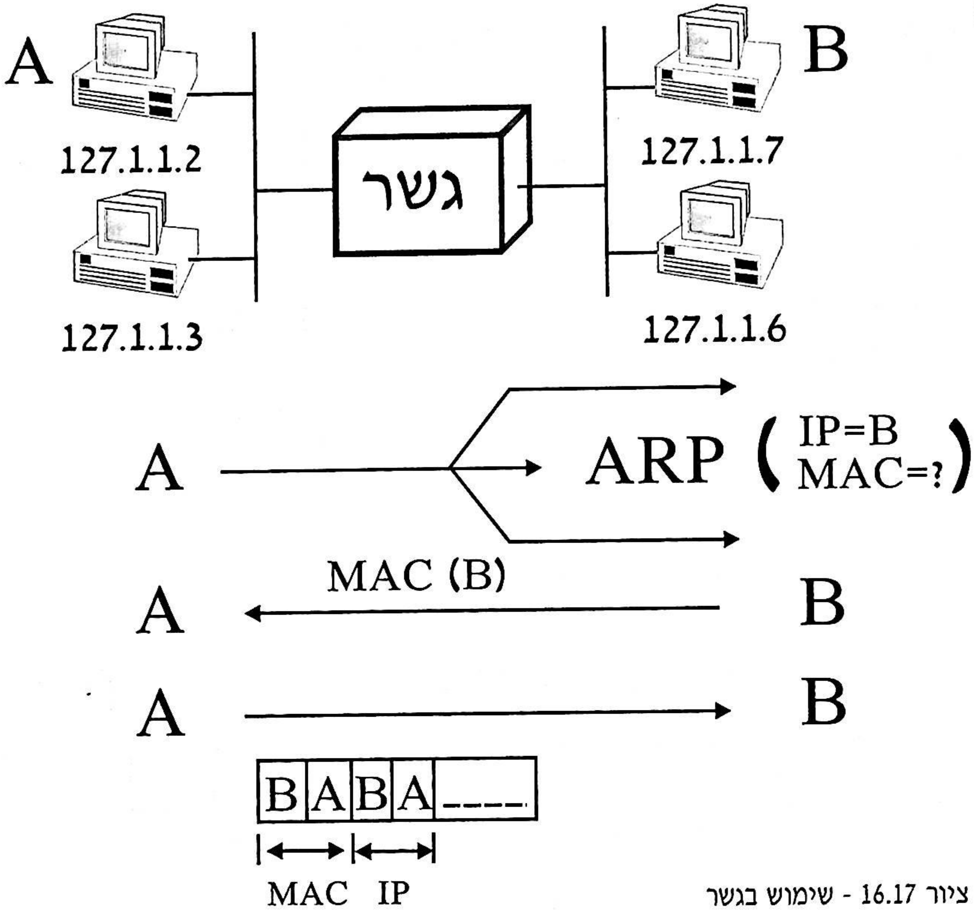
פרוטוקולי וקטור-מרחק אינם מתאימים לרשתות גדולות, מכיוון שהם מסוגלים לטפל ב-15 נתיבים לכל היותר. כמו כן תהליך עדכון טבלאות הניתוב יכול להימשך זמן רב וייתכן שהנתבים לא יהיו מסונכרנים באותן טבלאות. חסרון אחר הוא העמסה גדולה של הרשת, שכן כל נתב שולח כל 30 שניות את טבלת הניתוב השלמה שלו לכל הנתבים השכנים (אפילו כשלא קרה כל שינוי). חסרון נוסף של פרוטוקול RIP הוא שאינו משקלל את קצבי התמסורת של הקווים: קו בקצב של 9600 סל"ש יקבל אותו משקל כמו קו בקצב של 2 מסל"ש.

פרוטוקול OSPF (Open Short Path First) הוא דוגמה לפרוטוקול ניתוב ממשפחת **פרוטוקולי מצב-נתיב**, והוא כיום פרוטוקול הניתוב המועדף, המחליף את RIP. יישום פרוטוקול OSPF דורש יותר כח עיבוד, אולם הוא מספק נתיבים יותר אופטימליים ומגיב מהר יותר לשינויים הקורים ברשת. בשיטה זאת שולחים עדכונים רק במידה וחלו שינויים במצבי הנתיבים, וגם אז משדרים רק חלקים רלוונטיים מטבלאות הניתוב (ולא את הטבלאות בשלמותן כמו ב-RIP). הדבר מקטין בצורה משמעותית את התנועה ברשת וחוסך את רוחב הסרט שלה. יתרון נוסף של OSPF הוא שהנתיבים נבחרים על סמך קריטריונים כגון: קצב הקו, מחירו, והעומס הקיים בו. פרוטוקול OSPF משמש כיום לניתוב ברשת האינטרנט וברשתות TCP/IP אחרות.

7. השוואת גשרים לנתבים

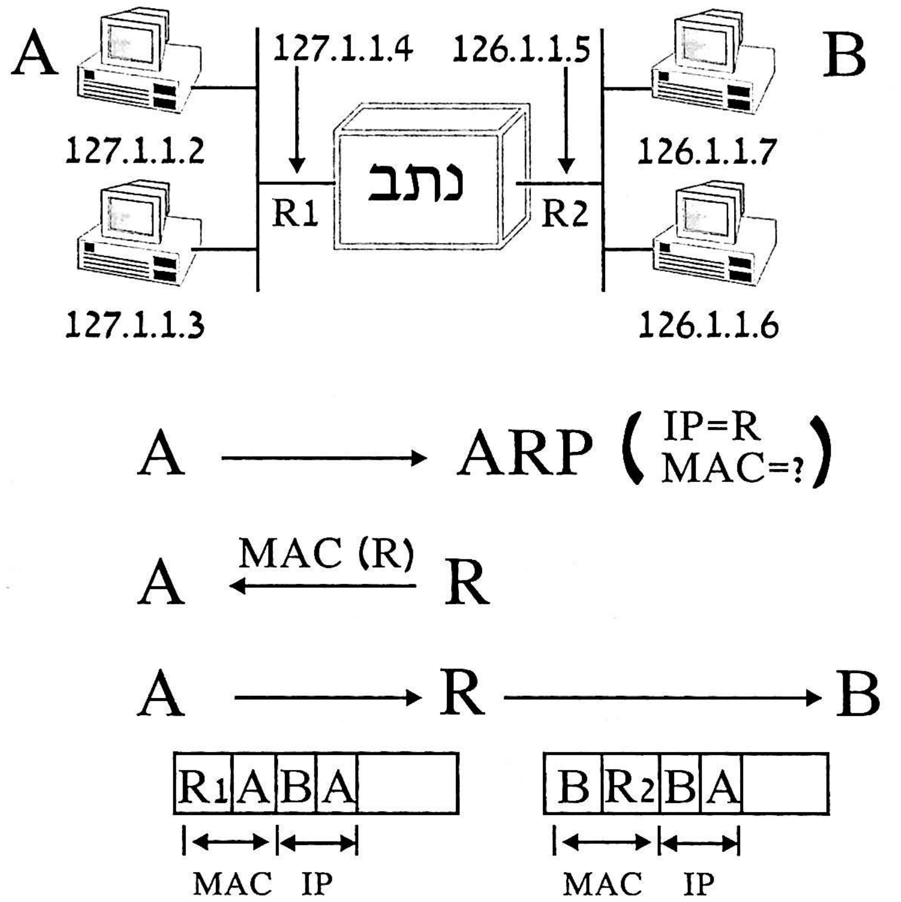
נשווה את פעולת הגשרים והנתבים בדוגמאות מעשיות הלקוחות מיישום פרוטוקול IP (פרוטוקול האינטרנט). נניח שתחנה A רוצה לשלוח מסגרת לתחנה B, והיא יודעת מהי כתובת IP של תחנה B.

במקרה של שימוש **בגשר** (ציור 16.17), כל התחנות משני הצדדים של הגשר חייבות להיות מאותה "משפחה", או מאותה **תת-רשת**. לכן גם התחנות A ו-B נמצאות באותה תת-רשת. A יודע מהי כתובת הרשת (כתובת IP) של B, אך כדי לבנות מסגרת הוא זקוק גם לכתובת הפיזית של B. לשם כך הוא משתמש בפרוטוקול מיוחד הנקרא ARP (Address Resolution Protocol), שתפקידו לגלות מהי הכתובת הפיזית של B. מסגרת ARP הכוללת את כתובת הרשת (IP) של תחנה B נשלחת ע"י A לכל הרשת (Broadcast). המסגרת מזוהה ע"י B, המחזיר הודעה עם כתובתו הפיזית (כתובת MAC). A שולח כעת ל-B מסגרת רגילה, הכוללת את הכתובות A/B בשכבה השניה והשלישית.



ציור 16.17 - שימוש בגשר

נחזור על הדוגמה עבור שימוש **בנתב**. במקרה זה התחנות A ו-B נמצאות על **תת-רשתות שונות** (ראה ציור 16.18). A אינו יכול לשלוח מסגרת ישירות ל-B (כי הם שייכים ל"משפחות" שונות) ולכן הוא חייב להפנות אותה לנתב, והנתב יפנה את המסגרת ל-B. לכן A שולח הודעת ARP לנתב ומבקש לדעת מהי כתובתו הפיזית של הנתב. הנתב מחזיר הודעה עם כתובתו הפיזית (R1), ואז A שולח מסגרת לנתב, הכוללת את הכתובות R1/A בשכבה השניה, ו-B/A בשכבה השלישית (IP). הנתב מקבל את המסגרת במבוא R1, מחליף את כתובות MAC בזוג הכתובות B/R2 (כלומר: אל B מאת R2), ומשדר את המסגרת המתוקנת במוצא R2 שלו.



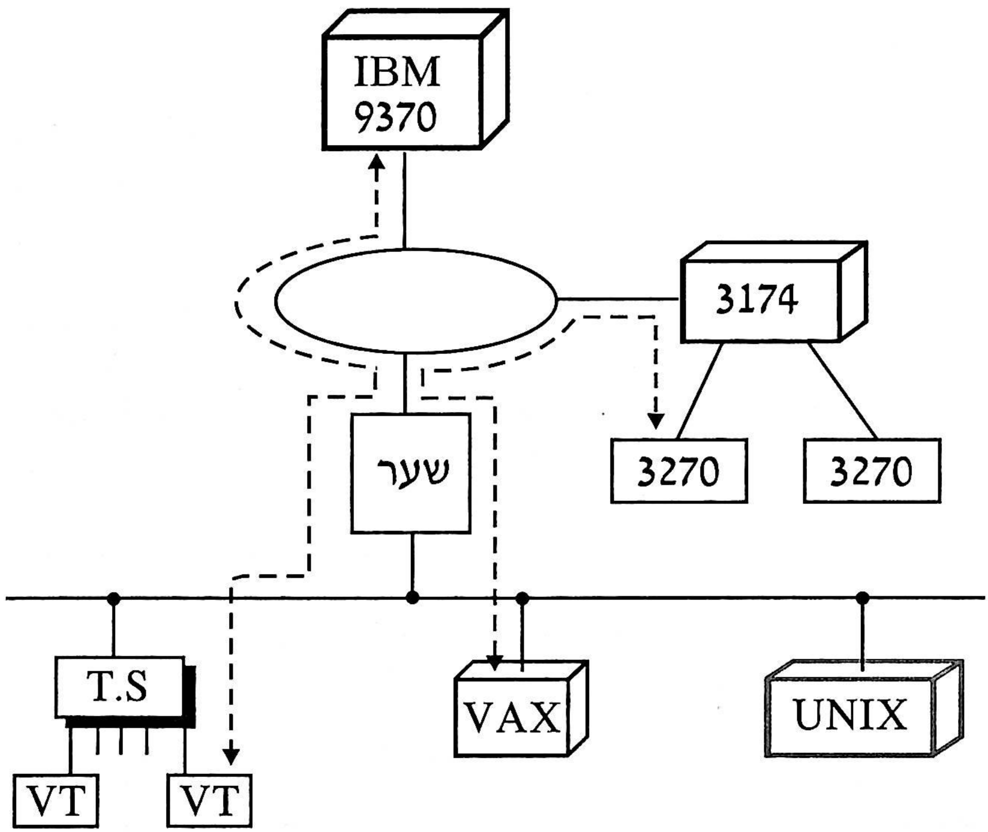
ציור 16.18 - שימוש בנתב

הטבלה הבאה מסכמת את תכונות הגשרים והנתבים:

תכונה	גשר	נתב
רשתות לוגיות	רשת לוגית אחת	רשתות לוגיות נפרדות
גודל רשת	קטנה	גדולה מאוד
אופטימיזציה של נתיבים	אין	יש
תמיכה בטופולוגיות מסובכות	אין	יש
בקרת גישה	אין	יש
עיבוד פנימי	פשוט	מורכב
תלות בפרוטוקולים	שקוף לפרוטוקולים	חייב תוכנה לכל פרוטוקול
שימוש	פשוט	יותר מורכב
מעבר מאתרנט לטא"ס	בדרך כלל לא	כן

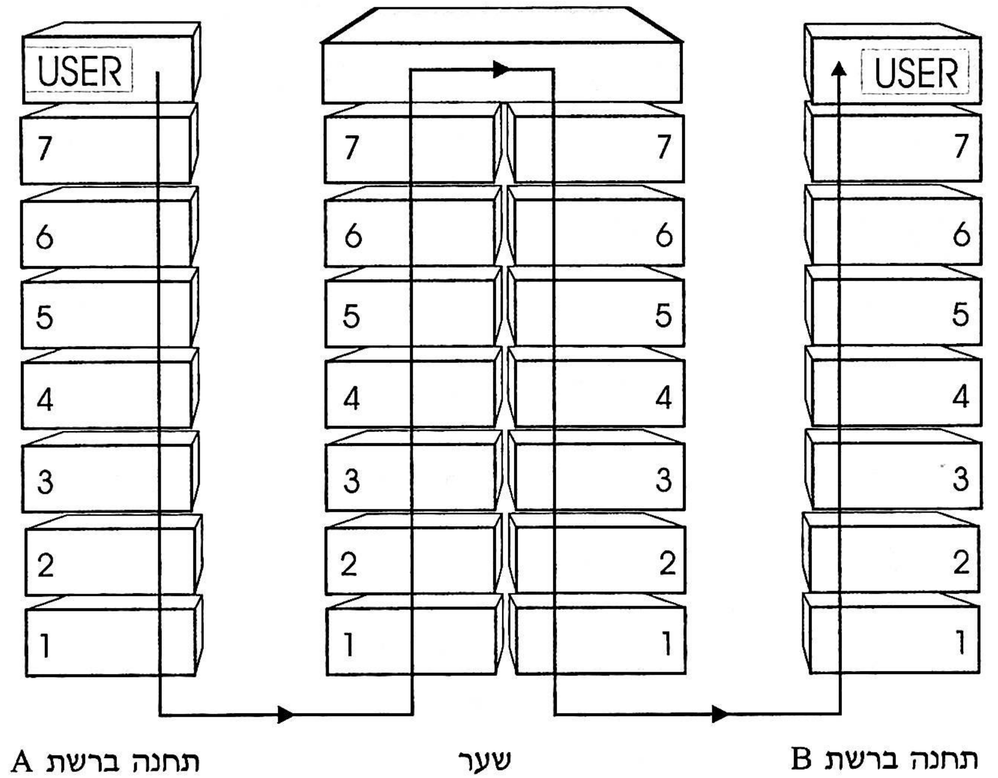
8. שערים (GATEWAYS)

שערים הם אלמנטים המחברים בין רשתות בעלות **ארכיטקטורה שונה**, כך שתחנה המחוברת לרשת אחת יכולה להתקשר לתחנה המחוברת לרשת השניה. לדוגמה, רשת אחת יכולה להיות מסוג אתרנט שעליה רצות אפליקציות של **DECNET**, והשניה יכולה להיות רשת **SNA** המחברת מחשבי **IBM**. כדי לחבר ביניהן נחוץ אלמנט המצוייד בכרטיס אתרנט, כרטיס טא"ס ותוכנת המרת פרוטוקולים (ראה ציור 16.19).



ציור 16.19 - שער **DECNET/SNA**

בציור 16.19 מסופי **VT** עוברים המרה ומתקשרים למחשב יבמ כאילו היו מסופי 3270 (תהליך הנקרא **Terminal Emulation**). מצד שני, מסוף 3270, המחובר לבקר 3174, יכול להתקשר למחשב **VAX** או **UNIX**.



ציור 16.20 - מבנה השכבות של שער

לשער יש כתובות פיזיות (בשכבה השנייה) בהתאם למספר הממשקים הקיימים: בציור 16.19 יש לשער כתובת אתרנט וכתובת טא"ס. מספר כתובות הרשת (בשכבה השלישית) יכול להיות גדול יותר, בהתאם לסוגי הפרוטוקולים הנתמכים. בציור 16.19 יש לשער שלוש כתובות: **IP, SNA ו-DECNET**.

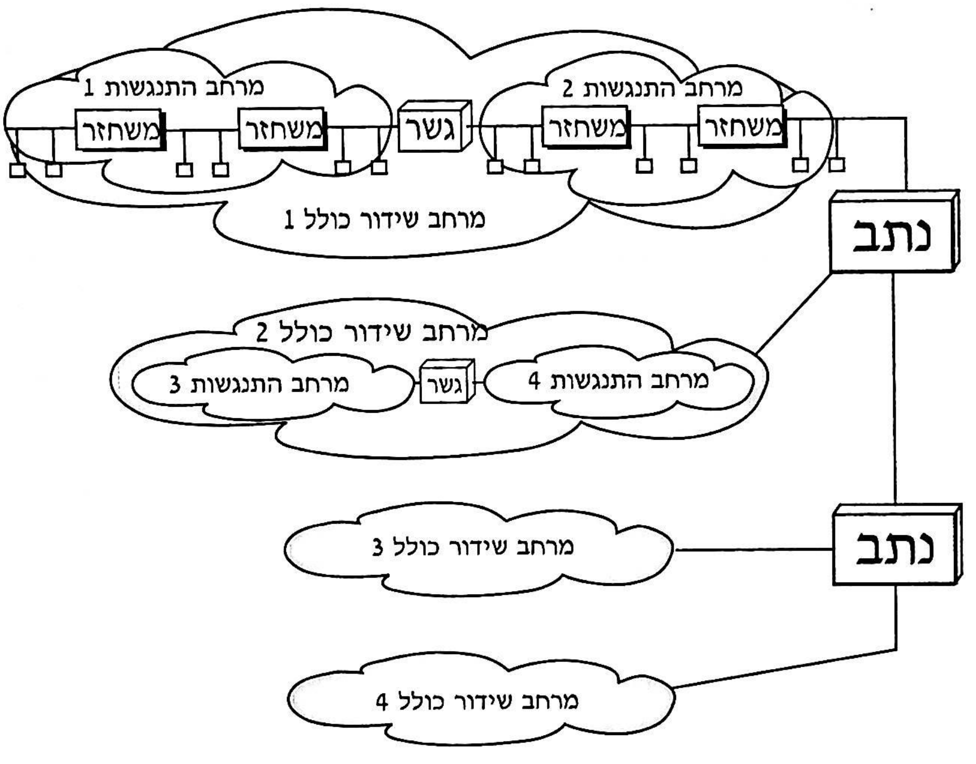
9. מרחב השידור הכולל (Broadcast Domain)

בפרק יב, סעיף 2, הכרנו את המושג "מרחב התנגשות" (Collision Domain), שהוא אוסף כל הנקודות (התחנות) ברשת, שאליהן יכולה להגיע מסגרת ששודרה מתחנה אחרת באותו מרחב, ולגרום להתנגשות. כבר ראינו שמשחזר (Repeater) נמצא **בתוך** מרחב ההתנגשות. השאלה היא: האם גשרים ונתבים נמצאים במרחב ההתנגשות?

התשובה היא - לא. בניגוד למשחזר, שמעביר את המסגרת הלאה בזמן אמיתי (כמעט), הרי גשר או נתב יקלטו את המסגרת, יבדקו את תקינותה, יבצעו את העיבוד הדרוש, וישדרו אותה מחדש תוך שמירה על כללי שכבת ה-MAC בצד השני. במילים אחרות, גשר או נתב ישדרו את המסגרת מחדש כמו כל תחנה אחרת במקטע הבא, ולכן מבחינה זאת הם "מפסיקים" את מרחב ההתנגשות של המקטע הקודם.

לעומת זאת גשרים ונתבים מתנהגים בצורה שונה כשמדובר בשידור כולל (Broadcast). כפי שראינו בציור 16.17, גשר מעביר את מסגרת ARP, שהיא מסגרת של Broadcast, ובצורה דומה יעביר לצד השני מסגרות שידור כולל מסוגים אחרים. נתב, לעומת זאת, "יחסום" את מסגרות השידור הכולל. לכן מגדירים את המושג **"מרחב השידור הכולל"** (Broadcast Domain) שהוא אוסף כל הנקודות/תחנות שאליהן יכולה להגיע מסגרת של שדור כולל ששודרה מאותו מרחב.

ציור 16.21 מתאר רשת, ובה כמה מרחבי התנגשות וכמה מרחבי שידור-כולל. שים לב שמרחב התנגשות מסתיים תמיד בגשר או נתב, ומרחב שידור-כולל מסתיים תמיד במבוא מסויים של הנתב.



ציור 16.21 -מרחב שידור - כולל

10. סיבום פרק ע"ז

בפרק זה הכרנו את האלמנטים המחברים בין רשתות, והם: משחזרים, גשרים, נתבים ושערים.

משחזרים פועלים בשכבה התחתונה של מודל OSI, השכבה הפיזית. תפקידם להגביר ולשחזר את האות הקיים בקצה מקטע אחד של הרשת, ולשדרו למקטע השכן. המשחזרים פועלים רק בין מקטעים בעלי

אותה שיטת גישה ואותו קצב שידור. אין להם יכולת בדיקה או סינון, ולכן הם יעבירו מצד לצד גם מסגרות שגויות. השימוש הנפוץ שלהם הוא להגדיל את הטווח הפיזי בין מקטעי הרשת הנמצאים באותו בנין או קמפוס.

גשרים מחברים רשתות בתת-שכבת ה-MAC של השכבה השנייה. הם קוראים את הכתובות הפיזיות DA/SA הכלולות במסגרת בשדה MAC, ועל פי זה מחליטים האם לסנן את המסגרת או להעבירה לצד השני. גשרי אתרנט בנויים לרוב בשיטת "גשרים שקופים", והם מסוגלים ללמוד לבד היכן נמצאות התחנות השונות, ולבנות לבד את טבלות הניתוב שלהם. גשרי טא"ס הם לרוב מסוג "ניתוב מקור", שבהם המסגרת כבר כוללת את הוראות הניתוב, והגשרים רק צריכים לפעול בהתאם. הניתוב ברשתות אתרנט מקומיות נעשה בשיטת Spanning Tree, וברשתות מרחביות בשיטת OSPF (המקובלת גם בנתבים).

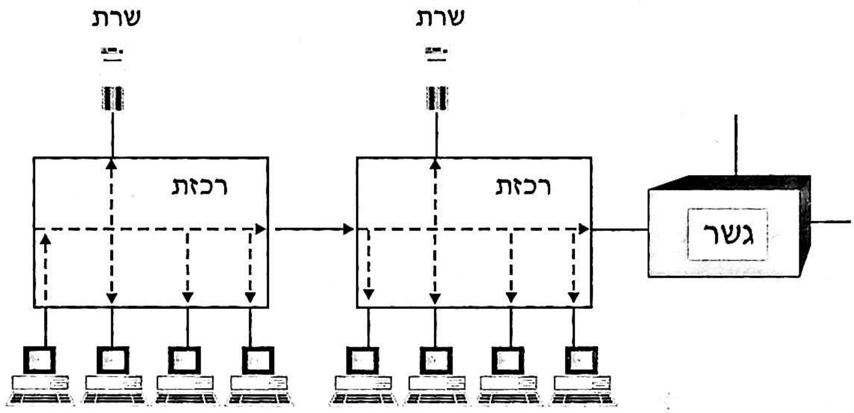
נתבים פועלים בשכבה השלישית, ומותר להם לקרא את כתובות הרשת (לדוגמה: כתובות IP), לכן הם מסוגלים לבצע החלטות ניתוב יותר אינטליגנטיות, ולטפל ברשתות יותר גדולות ומסובכות מאשר גשרים. לנתבים יש פרוטוקולי ניתוב מתאימים (לדוגמה: OSPF, שהוא כיום הפרוטוקול המקובל ברוב הנתבים). לנתבים יש תכונות רבות שאין לגשרים (למשל: הפרדת רשתות לוגיות, יכולת מעבר מאתרנט לטא"ס ולכל רשת אחרת, אבטחת מידע, וכו'), ולכן הנתבים הם היום האלמנטים המרכזיים ברשתות, ותפקיד הגשרים הולך ויורד.

שערים הם בעצם ממירי פרוטוקולים, המסוגלים לפעול בכל שבע הרמות, ולחבר רשתות בעלות ארכיטקטורה שונה (כגון SNA ו-DECNET).

פרק י"ז - רשתות ממותגות (Switched LANs)

1. הדרישה לרוחב-סרט גבוה

עד כה הכרנו שתי רשתות מקומיות (אתרנט וטאו"ס), ורשת מרחבית אחת (FDDI). כל שלוש הרשתות האלה פועלות על תווך משותף (Shared Media), או במילים אחרות, **רוחב-הסרט** של הרשת הוא **משותף** לכל התחנות ברשת. רכזת האתרנט (Hub), לדוגמה, ברגע שהיא מקבלת מסגרת מאחד המבואות, היא משדרת אותה לכל יתר המבואות ובאותו זמן אף תחנה אינה יכולה לשדר. בפרק י"ב הגדרנו את המושג "מרחב התנגשות" (Collision Domain), וראינו שאם יותר ממסגרת אחת תנוע בתוכו ברגע מסויים, תחול התנגשות. כלומר, ברשת אתרנט (בתוך מרחב התנגשות) קיימת תחרות על רוחב הסרט בין התחנות (ראה ציור 17.1).



ציור 17.1 - מרחב התנגשות

נניח שמרחב ההתנגשות בציור 17.1 מורכב מ-100 תחנות וארבעה שרתים. כל זמן שהתנועה ברשת נמוכה, כל תחנה יכולה לקבל למשך זמן קצר את כל רוחב-הסרט (10 מסל"ש). אולם כאשר התנועה ברשת עולה, מתחילות התנגשויות, ותחנות "מפריעות" אחת לשנייה לשדר. כפי שראינו בפרק י"א פיסקה 6, כאשר הרשת תגיע לעומס של 30% עד 40% (3 עד 4 מסל"ש) זמני התגובה יהיו ארוכים והרשת תהיה "חסומה". במצב כזה כל תחנה ברשת תקבל רוחב-סרט ממוצע של כ-40 קסל"ש בלבד (4 מסל"ש מחולק ב-100). למעשה, רוחב-הסרט "נטו" שכל תחנה תקבל, יהיה אף נמוך מזה, מכיוון שכל מסגרת אתרנט מכילה 26 בתים שאינם מכילים כל מידע של המשתמש (ראה ציור 12.19 בפרק יב), ובנוסף לכך חלק מרוחב-הסרט ברשת אינו מנוצל בגלל זמני ההמתנה של 9.6us בין מסגרת למסגרת.

עד לפני מספר שנים, היה רוחב-הסרט של האתרנט מספיק. אולם בשנים האחרונות אנו עדים לגידול מהיר בתעבורת הרשתות, הנובע מן הסיבות הבאות:

- כח המיחשוב של ה-PC עולה בהתמדה, ומכפיל את עצמו כל 18 חודש לערך (חוק **Moore**, אחד ממייסדי חב' אינטל). ואכן עשר שנים חלפו בין מחשב ה-AT ובו המעבד 80286 (בעל יכולת עיבוד של 1 MIPS, מיליון פעולות בשנייה), לבין מעבד הפנטיום הפועל ביכולת של 100 MIPS לערך. חוק נסיוני אחר (חוק Amdahl) קובע כי כל 1 MIPS של מחשב רשת, דורש 1 מסל"ש של רוחב-סרט. מכאן ברור שרוחב-סרט משותף של 10 מסל"ש כבר אינו מתאים למחשבים המתקדמים של תקופתנו.

- מכירות מחשבי ה-PC עולות בקצב גידול של יותר מ-20% לשנה. חלק גדול ממחשבים אלה מתחבר לרשתות, ומעלה עוד יותר את התעבורה שלהן. בהרבה ארגונים מקבל כיום כל עובד חדש מחשב PC עם תחילת עבודתו, ומתחבר לרשת הארגונית.

- סניפים מרוחקים של הארגון מתחברים לרשת המרכזית ומעלים את התעבורה שלה. במרבית הארגונים יש כיום שאיפה להקים רשת פרטית למולטימדיה (לדוגמה, רשת CTI המשלבת דיבור ברשת LAN), וברור שהעומס על הרשת הראשית עולה.

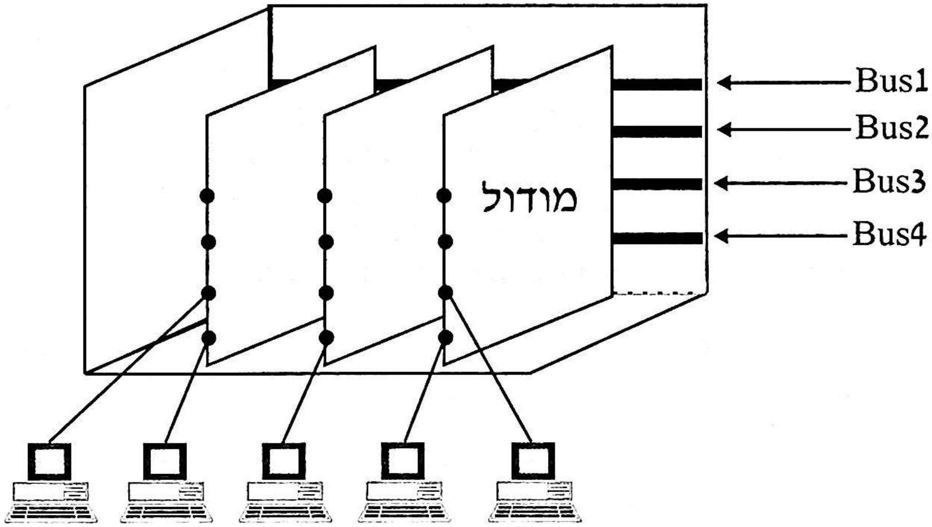
- היישומים ברשתות נעשים "כבדים" יותר, ודורשים רוחב-סרט הולך וגדל. מערכות ההפעלה DOS, שאיפשרו יישומים טקסטואליים (כגון: דואר אלקטרוני, מערכות מלאי, הזמנות וכו') וכן גראפיים בממשק של 16 סיביות, הוחלפו במערכות הפעלה מתקדמות מבוססות חלונות (Windows), הפועלות על 32 סיביות, ומאפשרות יישומי גראפיקה, מולטימדיה ווידאו מתקדמים. לדוגמה, מסך צבעוני אחד ברזולוציה של 640x480 פיקסלים (פיקסל הוא אלמנט של תמונת המסך) דורש 7.37 מיליון סיביות של זכרון, מכיוון שכל פיקסל צבעוני מתורגם ל-24 סיביות. סרט וידאו ברזולוציה של 640x480 פיקסלים, 24 סיביות לפיקסל ובקצב של 30 מסגרות (תמונות) לשנייה - דורש רוחב סרט של 27.6 מיליון בתים לשנייה, או 220 מסל"ש. סרט וידאו דחוס דורש 1.5 מסל"ש (בשיטת MPEG-1) עד 6 מסל"ש (בשיטת MPEG-2) **לכל משתמש**, וברור שרשת אתרנט בעלת רוחב-סרט משותף אינה מתאימה למטרות אלה.

אחד הפתרונות הראשונים שהוצעו לשיפור רוחב-הסרט, היה **רכזת רב-ערוצית** (Multi-Bus Hub). רכזות האתרנט הראשונות כללו ערוץ (Bus) אחד, שהיה למעשה רשת אתרנט פנימית (כדוגמה הרכזות בציור 17.1). הרכזות מהדור השני כבר כללו מספר ערוצים, שכל אחד מהם תפקד כמקטע אתרנט עצמאי. בציור 17.2 מתוארת רכזת מודולרית בעלת 4 ערוצים. כל מודול (כרטיס) הנתקע לתוך הרכזת יכול לגעת בערוץ אחד או יותר, והתחנות מתחברות אליו מצידו החיצוני.

חיבור התחנות לערוצים השונים יכול להתבצע בשני אופנים:

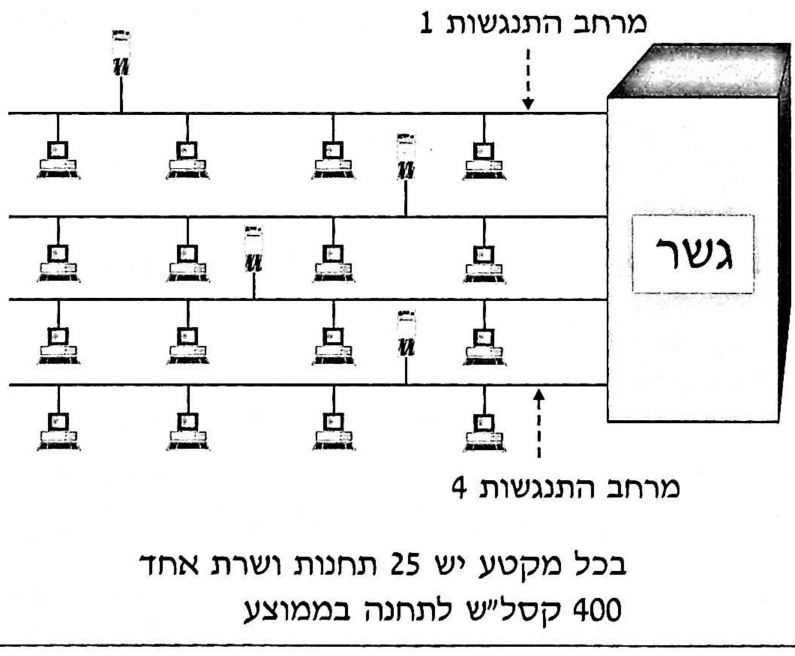
א. חיבור **המודול כולו** לערוץ מסויים (Module Switching).

ב. חיבור **כל** PC לערוץ אחר (Port Switching).



ציור 17.2 - רכזת בעלת 4 ערוצים

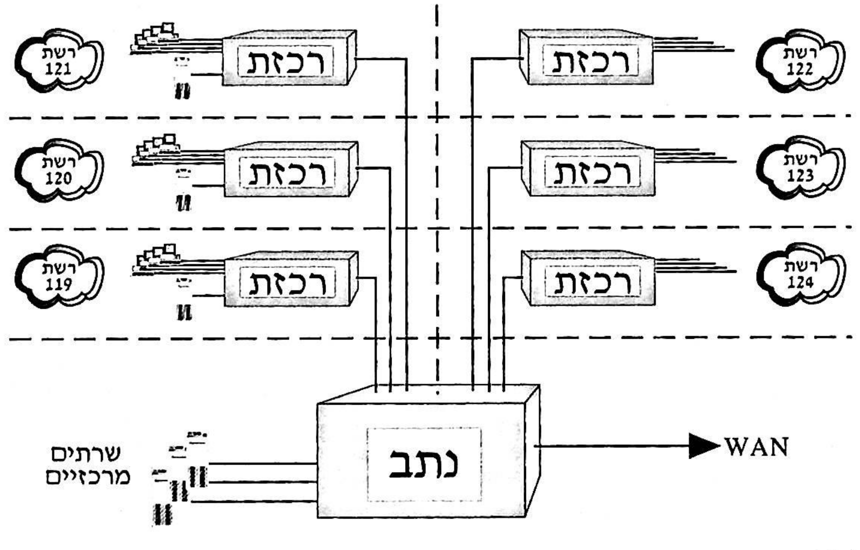
הגדרת החיבורים יכולה להעשות ע״י מפסקים הנמצאים על כל מודול, או בעזרת מערכת הבקרה. אחד המודולים של הרכזת יכול להיות מודול של גשר, הנוגע בכל הערוצים הפנימיים ומאפשר גישור בין 2 (או יותר) ערוצים. אם מחברים את כל הערוצים ע״י גשר, מתקבלת הרשת בציור 17.3.



ציור 17.3 - חלוקת רשת ע״י גשר

הרשת בציור 17.3 מורכבת מגשר רב-מבואות (Multiport Bridge) ו-4 מקטעים, שכל-אחד מהם הוא מרחב התנגשות. אם ניקח את 100 התחנות של ציור 17.1 ונחלק אותן בצורה שווה ל-4 המקטעים, יהיו בכל מקטע 25 תחנות (ונניח שגם שרת מקומי). בכל מקטע (שהוא כאמור מרחב התנגשות) ניתן להגיע לרוחב-סרט מקסימלי של 10 מסל"ש מאחר ורוב התנועה נוצרת ע"י השרת ולכן אין כמעט התנגשויות. בממוצע כל תחנה תקבל כ-400 קסל"ש, כלומר, **פי 10** מאשר לתחנה בציור 17.1. שים-לב שהחיבור לשרת נהפך כעת ל"צואר הבקבוק" בכל מקטע, והוא מספק 10 מסל"ש (בהנחה שהתנועה הנכנסת אליו היא זניחה). אם השרת היה מסוגל לספק 100 מסל"ש, הרי כל תחנה היתה מקבלת 4 מסל"ש. חלוקת התנועה בצורה שתוארה לעיל נקראת סגמנטציה (Segmentation), וכמובן שבאופן תיאורטי אפשר להמשיך ולחלק את הרשת למקטעים נוספים, הכוללים מספר קטן יותר של תחנות, ויותר תנועה לכל תחנה.

השמוש בגשרים לצורך סגמנטציה מקובל ברשתות קטנות, אולם ברשתות גדולות משתמשים לצורך כך בנתבים, המאפשרים גם יצירת תת-רשתות, והגבלת המעבר ביניהן. ציור 17.4 מתאר דוגמה טיפוסית של "תשתית מכווצת" (Collapsed Backbone), שבה בכל קומה של המבנה יש רכזת מחלקתית, המתפקדת כתת-רשת (לדוגמה בפרוטוקול IP או IPX), ומשרתת את כל התחנות בקומה. כל הרכזות מחוברות לנתב, והוא שקובע (בעזרת פילטרים מתאימים) את ההרשאות למעבר בין הרשתות וכן את הגישה לשרתים המרכזיים או לרשת החיצונית (WAN).



ציור 17.4 - הנתב ברשת Collapsed Backbone

קיימים בשוק נתבים גדולים, בעלי יכולת העברה גבוהה (לדוגמה: 0.5-1 מיליון מנות לשניה, PPS), ובעלי מספר רב ומגוון של ממשקים. אולם מחירם הגבוה, יכולת הגידול המוגבלת, ההשהייה שהם גורמים לזרימת המידע עקב השימוש בתוכנה וסיבוך השימוש בהם, הביאו לפיתוח טכנולוגיה חדשה שנקראת **"מתג LAN"** (LAN Switch) המבוססת על יישומי חומרה. מתג LAN הראשון הופיע בשנת 1990 (ה-Ether-Switch של חברת Kalpana), ואחריו הופיעו מתגים רבים מסוגים וגדלים שונים.

2. איך פועל מתג LAN

מתג LAN פועל בצורה דומה לגשר: ברגע שמגיעה מסגרת, המתג מסתכל על כתובת היעד (DA) בשכבת MAC, ומחליט לאיזה מוצא של המתג יש לנתב את המסגרת הזאת (על פי טבלה מוכנה מראש או טבלה הנבנית באופן דינאמי). המתג יוצר "מסלול וירטואלי" בין שני המבואות, שבו זורמות כל הסיביות השייכות למסגרת בקצב של 10 מסל"ש, ולאחר גמר שידור המסגרת המסלול מתנתק (ראה ציור 17.5).



טבלת מיתוג

כתובת MAC	מבוא
A	1
B	2
C	3
D	4

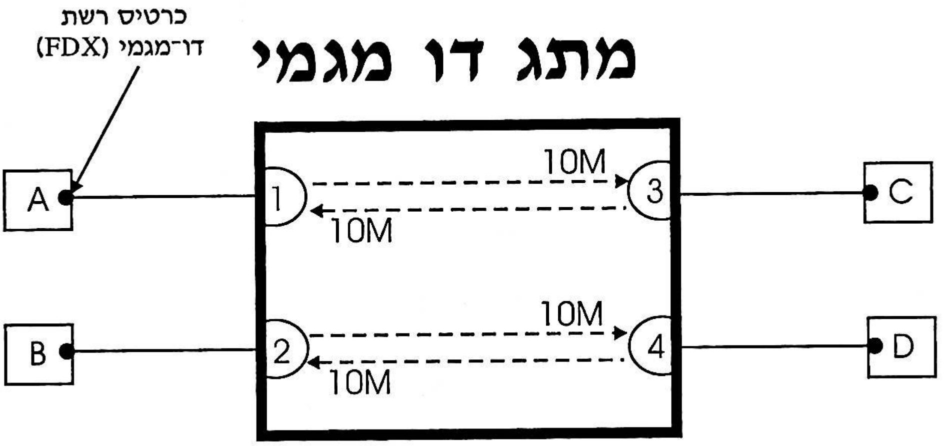
ציור 17.5 - עקרון פעולת המתג

טבלת המיתוג של המתג מכילה את כל המבואות, ועבור כל מבוא יש רשימת כל כתובות MAC של התחנות המחוברות לאותו מבוא. הטבלה יכולה להכיל **כתובת אחת בלבד** לכל מבוא, ובמקרה זה התחנה המחוברת למבוא זה מקבלת את כל רוחב-הסרט האפשרי (10 מסל"ש) בכל פעם שהיא מתקשרת לתחנה אחרת. בציור 17.5 תחנה A שולחת מסגרת לתחנה C, ובאותו הזמן יכולה תחנה B לשלוח מסגרת לתחנה D, גם כן בקצב מקסימלי של 10 מסל"ש. שיטה זאת, שבה לכל מבוא מחוברת תחנה בודדת, נקראת **"מיתוג עד הקצה"** (Switching to the desktop), או **"מיקרוסגמנטציה"**, כמתואר בציור 17.5. מאחר וכל שידור פועל בקצב של 10 מסל"ש, אפשר לומר שהקיבול של המתג בציור 17.5 הוא 20 מסל"ש. באופן כללי אפשרי לחשב את הקיבול של מתג בצורה הבאה:

קיבול מתג חד מגמי (HDX) = (קצב המבוא) x (מספר המבואות) / 2

לדוגמה, הקיבול של מתג בעל 16 מבואות אתרנט הוא 80 מסל"ש. לשם השוואה, הקיבול של רכזת (Hub) רגילה בעלת 16 מבואות הוא 10 מסל"ש (למעשה רק 4 מסל"ש).

הנוסחה לעיל מתייחסת לקיבול מתג אתרנט הפועל באופן **חד-מגמי** (**Half Duplex**). רשתות אתרנט הקלאסיות (שתוארו בהרחבה בפרק יב) פועלות באופן חד-מגמי: תחנה אינה יכולה לשדר כאשר תחנה אחרת משדרת. התחנה תוכל לשדר רק לאחר שחלפו 9.6us מסיום השידור הקודם. מנגנון ה-MAC של התחנה (הבנוי על כרטיס הרשת) מונע בעדה לשדר בזמן שקיים שידור אחר ברשת. אולם החל משנת 1993 החלו להופיע בשוק מתגים וכרטיסי רשת הפועלים באופן **דו-מגמי** (**Full Duplex**), והם מאפשרים שידור וקליטה בו-זמנית בשני הכוונים (ראה ציור 17.6).



ציור 17.6 - מתג דו-מגמי

ציור 17.6 מתאר מתג דו-מגמי, שבו קיימת תנועה דו-כיוונית בין כל זוג מבואות, בקצב של 10 מסל"ש בכל כוון. ברור כי כרטיסי הרשת של התחנות המחוברות למתג חייבים אף הם להיות דו-מגמיים, והם שונים מכרטיסי האתרנט הרגילים. השימוש בשיטה דו-מגמית אפשרי בכרטיסי רשת, מתגים, גשרים ונתבים, אך לא במשחזרים (Hubs). האפקטיביות של קישור דו-מגמי תלוייה באופי התנועה: אם התנועה מאוזנת בין מבוא השידור ומבוא הקליטה, אזי הקיבול (Throughput) יגדל ב- 100%. אם התנועה אינה מאוזנת - השיפור יהיה נמוך יותר. חשוב גם לציין שקישור דו-מגמי הוא חסר התנגשויות, ולכן הנצילות **בכל כיוון** תהיה גבוהה מהנצילות הקיימת בקישור חד-מגמי (שבו קיימות התנגשויות).

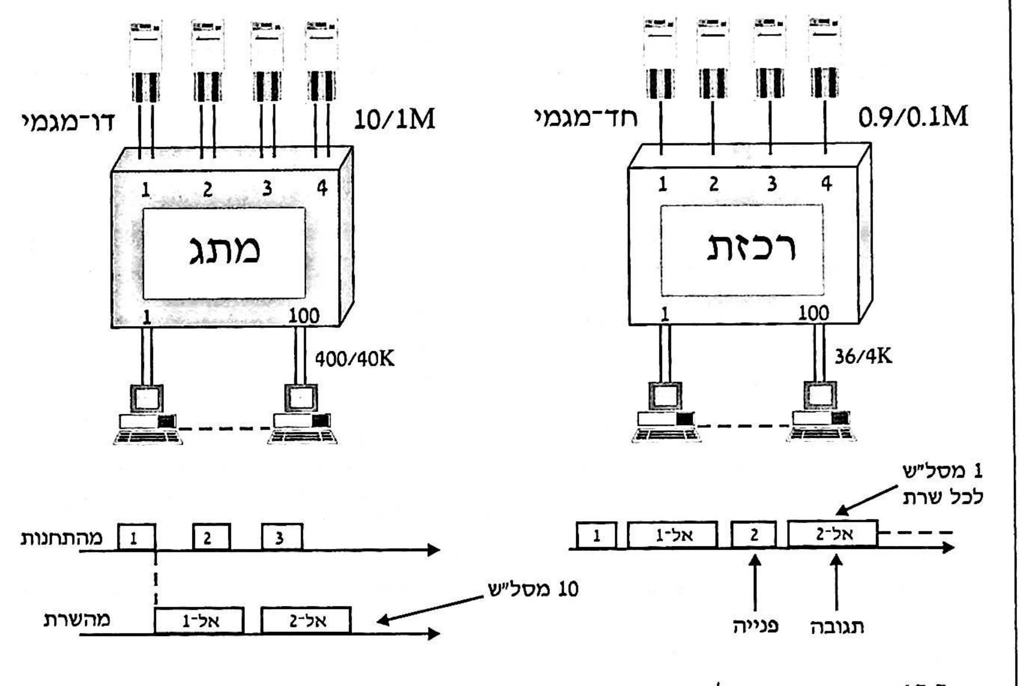
הקיבול של מתג דו-מגמי מחושב לפי הנוסחה הבאה:

(קצב המבוא) x (מספר המבואות) = קיבול מתג דו-מגמי (FDX)

לדוגמה, הקיבול של מתג דו-מגמי בעל 16 מבואות הוא 160 מסל"ש. זהו קיבול הגבוה מזה של רשת FDDI (100 מסל"ש), וזול ממנו בצורה משמעותית, ומכאן ברורה העלייה התלולה במכירות של מתגי LAN.

3. יישומי מתג LAN

כפי שראינו בפיסקה הקודמת, מתג LAN מאפשר לספק לכל מבוא רוחב-סרט "נטו" של 10 מסל"ש (בעבודה חד-מגמית), או 20 מסל"ש (בעבודה דו-מגמית). רוב המתגים המסופקים כיום עובדים חד-מגמית ודו-מגמית עם יכולת אבחנה אוטומטית (**Auto Sensing**). המתגים משפרים בצורה משמעותית את ביצועי הרשתות, כפי שנראה בדוגמאות להלן.



ציור 17.7 - השוואת מתג לרכזת

ציור 17.7 מתאר רשת דמיונית המורכבת מ-4 שרתים ו-100 תחנות. הרשת בנוייה מרכזת (בצד ימין) או מתג (בצד שמאל). הרכזת עובדת בצורה **חד-מגמית** ומסוגלת להגיע לקצב מקסימלי של 4 מסל"ש, בגלל המגבלה של פרוטוקול אתרנט. מאחר וכל התנועה מופנית אל השרתים ובחזרה מהם לתחנות, הרי שבמוצא כל שרת אפשר למדוד רבע מהתנועה ברשת (כלומר 1 מסל"ש), כמתואר בחלק התחתון של הציור. בגלל האופי החד-מגמי של עבודת הרכזת, כל התנועה מתנהלת באופן טורי: תחנה מסויימת פונה לשרת, והשרת עונה לה, וכן הלאה (כמובן שבציור התעלמנו מכל ההתנגשויות הקיימות ברכזת).

אם נניח שהפניות לשרת מנצלות בערך 10% מרוחב-הסרט, ותגובות השרת הן כ-90% מרוחב-הסרט, הרי שרוחב-הסרט הכללי (4 מסל"ש) מתחלק ל- 0.4 מסל"ש פניות ו-3.6 מסל"ש תגובות לכל השרתים. כל שרת בנפרד יספק 0.9 מסל"ש, ויקבל פניות של 0.1 מסל"ש. כל תחנה מקבלת "זמן שרת" ממוצע לתגובות של 36 קסל"ש בלבד (השווה עם ציור 17.1).

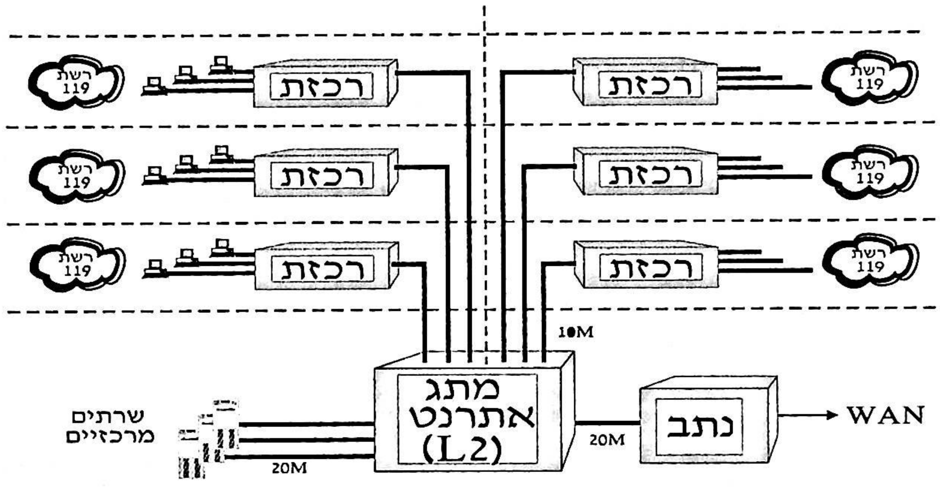
במקרה של המתג, העבודה היא **דו-מגמית**, כך שהשרת וכל אחת מהתחנות יכולים לעבוד בקצב של עד 10 מסל״ש בכל כוון. כל הפניות מגיעות לשרת בזוג הקליטה, וכל התשובות משודרות מהשרת בזוג השידור, כמתואר בחלק התחתון של ציור 17.7. במקרה זה, כל תחנה מקבלת ״זמן שרת״ ממוצע לתגובות של כ-400 קסל״ש (40 מסל״ש מחולק ב-100), למרות שהיא מסוגלת תיאורטית לקבל קצב של עד 10 מסל״ש. הסיבה היא שהשרתים מהווים במקרה זה ״צואר בקבוק״, בניגוד למקרה הקודם שבו הרכזת היא המגבלה של הרשת. החלפת הרכזת במתג שיפרה את התפוקה של כל תחנה יותר מפי 10. קיבול המתג הזה הוא 1040 מסל״ש אך במקרה שלנו התפוקה האפקטיבית היא 44 מסל״ש בלבד (11 מסל״ש לשרת x 4).

תרגיל: הוכח שאם המתג בדוגמה לעיל הוא חד-מגמי, והפניות לשרת מהוות 10% מהתנועה, אזי כל תחנה תקבל ״זמן שרת״ ממוצע של 360 קסל״ש (התפוקה האפקטיבית היא 40 מסל״ש).

התרגיל לעיל מראה לנו שהשיפור של עבודה דו-מגמית הוא לערך 10% בדוגמה זו (400 לעומת 360 קסל״ש). הסיבה היא חוסר האיזון בתנועת הרשת: 10% פניות לשרת ו-90% תגובות מהשרת. קיימים יישומים אחרים שבהם התנועה יותר מאוזנת, כגון ועידת-וידאו בין המשתמשים השונים, ואז נצילות המתג משתפרת. אם נניח שלמתג בדוגמה הקודמת נוסיף שני שרתים נוספים הרי שתפוקת השרתים תהיה כעת 60 מסל״ש ותפוקת הרשת תהיה 66 מסל״ש. כל תחנה תקבל ״זמן שרת״ של 600 קסל״ש, כלומר, 50% יותר מהדוגמה הקודמת (400 קסל״ש).

ראינו בדוגמאות לעיל, כי ״צואר הבקבוק״ עבר מהרכזת (המסוגלת לכל היותר לספק רוחב-סרט של 4 מסל״ש) אל מוצא השרת המחובר למתג. המתג מסוגל אמנם לתת רוחב-סרט של 10 מסל״ש לכל תחנה, אך השרת מגביל את הקצב ל-400 קסל״ש (או 600 קסל״ש) בדוגמאות לעיל. הפתרון לבעייה זו הוא להשתמש בטכנולוגייה של **אתרנט מהיר** (Fast Ethernet), או אתרנט 100 מסל״ש, שתתואר בהרחבה בפיסקה הבאה. נסתפק בשלב זה רק בדוגמה פשוטה: אם למתג בציור 17.7 נחבר שרת בודד עם כרטיס 100 מסל״ש, כל תחנה תקבל בממוצע 1 מסל״ש.

בציור 17.8 מתוארת רשת שבמרכזה מתג **LAN**, הדומה לרשת של ציור 17.4.



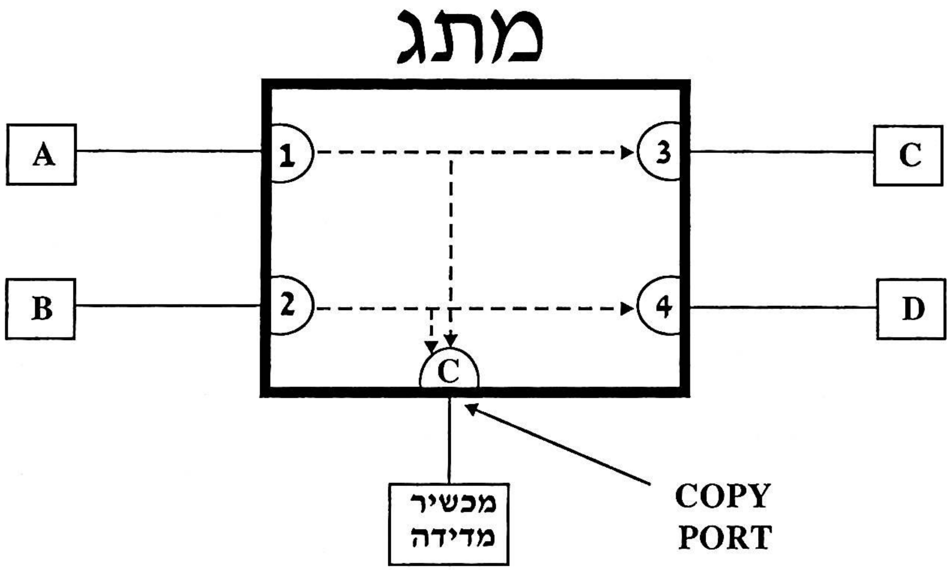
ציור 17.8 - המתג כ-Collapsed Backbone

הרכזות שבקומות השונות מחוברות למתג האתרנט באופן **חד-מגמי** (יש לזכור כי רכזת היא בעצם משחזר, ולכן אינה יכולה לעבוד דו-מגמי). השרתים המרכזיים מחוברים באופן **דו-מגמי**, וכמובן שהם כוללים כרטיסי רשת דו-מגמיים. הסימון **20M** שבציור, מסמן קשר דו-מגמי, **המסוגל להגיע** לקיבול של 20 מסל״ש, אם כי הקיבול המעשי בחיבור הזה יכול להיות נמוך יותר, בתלות באופי התנועה. גם הנתב מחובר למתג באופן דו-מגמי.

חשוב לציין כי מתג LAN פועל **בדיוק כמו גשר**, כלומר הוא פועל בשכבת ה-MAC, ולכן בציור 17.8 מופיע הסימון L2 (Layer 2). המתג אינו מסוגל לבצע פונקציות של ניתוב (Routing), ולכן כל התחנות במערכת הזאת חייבות להיות **באותה תת-רשת**. בציור 17.4, בגלל הימצאות הנתב, יכולנו לחלק את הרשת לתת-רשתות שונות, והניתוב ביניהן נעשה בשכבה השלישית ע״י הנתב, כולל הטיפול בהרשאות גישה. מאחר והמתג אינו פועל בשכבה השלישית, אין לו יכולת ניתוב, וכל התחנות חייבות להיות באותה תת-רשת, כלומר באותו Broadcast Domain. מאחר וכמות ה-Broadcast היא יחסית לכמות התחנות במרחב, הרי שרוחב-סרט גדול יחסית ״מתבזבז״ ברשת זו. הפתרון לכך הוא בניית רשתות מדומות (VLAN) כפי שיתואר בהמשך. הנתב שבציור 17.8 מבצע ניתוב החוצה, אך לא ניתוב בין הרכזות (כפי שעשה הנתב בציור 17.4). בהמשך נראה גם איך נפתרה בעיית הניתוב במתגים בצורות שונות.

הרכזות בציור 17.8 מקבלות רוחב-סרט של 4-10 מסל״ש חד-מגמי, המתחלק בין כל המשתמשים המחוברים לרכזת. אם המשתמשים הם ״כבדים״, אפשר לחבר רק כמות קטנה לרכזת, וכל אחד מהם יקבל רוחב-סרט גדול. אם המשתמשים אינם זקוקים לרוחב-סרט גדול, אפשר לחבר כמות גדולה של תחנות לרכזת. בכל מקרה מנהל הרשת יכול לתכנן את קיבול הרכזות בהתאם לאופי המשתמשים, ואם צריך - אפשר להחליף רכזת במתג ולשפר את הקיבול.

אספקט נוסף שיש להתחשב בו בעת הדיון במתגים הוא **אבטחת המידע** (Security). ברכזת רגילה (Hub), כל מסגרת הנכנסת לתוכה משודרת מייד לכל התחנות (ראה ציור 17.1). אפשר לחבר מכשיר מדידה (כגון "סניפר") לאחד המבואות הפנויים של הרכזת, ולקלוט את כל המידע הזורם ברשת. במתג הדבר אינו אפשרי, משום שכל מסגרת מופנית אך ורק **למבוא שאליו היא מיועדת**, כמתואר בציור 17.5. אם מחברים מכשיר מדידה למבוא מסויים של מתג, ניתן לקלוט **רק** את המסגרות שהופנו לאותו מבוא. אולם לפעמים יצרנים רוצים במתכוון שיהיה מבוא אחד שבו תהיה גישה לכל המסגרות, והם מתקינים במתג מבוא כזה הנקרא "מבוא העתקה" (Copy Port). למבוא העתקה ניתן לחבר מכשיר מדידה ולקלוט את כל המסגרות ברשת (ראה ציור 17.9).



ציור 17.9 - מבוא העתקה במתג

4. אתרנט מהיר (Fast Ethernet)

בתחילת פרק זה ראינו את הדרישה לרוחב-סרט גבוה, שהלכה והתגברה בראשית שנות התשעים, וחייבה פתרונות חדשים. הפתרון הראשון שהוצע בשנת 1990 היה **מתג** LAN, שהוא בעצם יישום חומרה של הגשר (Bridge) אך מהיר וטוב ממנו. בהמשך פותחה טכנולוגיית **האתרנט הדו-מגמי**, שהוצגה לראשונה בשנת 1993 (גם-כן ע"י חב' Kalpana), ונמצאת כעת בועדת-התקינה IEEE802.3X. שני פתרונות אלה שיפרו בצורה משמעותית את ביצועי האתרנט, מכירות רשתות אתרנט עלו בקצב מהיר ומחיריהן ירדו בהתאמה. אולם עדיין היתה קיימת דרישה לרוחב-סרט נוסף, בעיקר לחיבור לשרתים ולתשתית (Backbone).

הפתרון הופיע בצורת **אתרנט מהיר**, או אתרנט 100 מסל"ש. החלוצה בתחום זה היתה חב' Grand Junction שהוקמה בשנת 1992 במטרה לפתח טכנולוגיה לאתרנט מהיר, שהתבססה על פרוטוקול אתרנט המקורי (CSMA/CD) אך במהירות של 100 מסל"ש. החברה הגישה הצעה לתקן לועדת IEEE 802, כשתומכות בה החברות 3COM, SUN ו-Synoptics. אולם ל-IEEE הוגשה גם הצעה נגדית של HP ו-AT&T, המציעה ליישם פרוטוקול MAC חדש, השונה מפרוטוקול אתרנט המקורי. במהלך שנת 1993 התנהלה ב-IEEE "מלחמת האתרנט המהיר", ומשלא הושגה כל הכרעה החליטו תומכי הצעת Grand Junction (שכללו כעת את אינטל, 3COM, סינופטיקס, כיבלטרון, SMC, SUN ואחרים) להקים ארגון משלהם שנקרא FEA (Fast Ethernet Alliance). ה-FEA פירסם באוקטובר 1993 את מפרטי הפרוטוקול 100Base-X (הידועים היום בשם 100Base-TX), ובאותו חודש החלה חב' GJ לספק את מתגי וכרטיסי אתרנט 100 מסל"ש הראשונים.

ארגון IEEE החליט לבסוף לתמוך **בשתי הטכנולוגיות**, והקים שתי קבוצות עבודה:

- 802.3U, שאישרה בשנת 1995 את תקני 100Base-T המבוססים על פרוטוקול אתרנט המקורי (CSMA/CD).
- 802.12, שפיתחה את הטכנולוגיה הנקראת 100VG-AnyLAN, המבוססת על פרוטוקול גישה חדש הנקרא Demand Priority.

מוצרים משתי הטכנולוגיות החלו להופיע בשוק, אך המנצח הוא 100Base-T, בגלל התמיכה הרחבה שקיבל מהיצרנים, מחירו הזול, יכולתו לעבוד במיתוג ובאופן דו-מגמי (שתי תכונות חשובות החסרות בתקן 802.12), ויכולת ההגירה הפשוטה מרשתות אתרנט 10 מסל"ש ל-100 מסל"ש ובהמשך אף ל-1000 מסל"ש.

להלן נתמקד במוצרי 100Base-T, שהם כיום הנפוצים בשוק, ובכל פעם שנזכיר את המושג "אתרנט מהיר" (FE) נתכוון לטכנולוגיה זו. חשוב לציין כי יישומי 100BaseT אינם דורשים שינויי כבילה, ואפשר להמשיך ולהשתמש בתשתית הקיימת (UTP או סיבים) כפי שנראה בפיסקה הבאה.

5. תקני 100Base-T

תקני 100Base-T שאושרו במאי 1995 ע"י קבוצת IEEE 802.3U, מגדירים שיטת גישה (MAC) הזהה לשיטת האתרנט המקורית, אך מהירה פי 10. הטופולוגיה היא כוכב (רכזת או מתג), בדומה לטופולוגיית 10BaseT, ותומכת בשלושה סוגי ממשקים פיזיים בהתאם לטבלה הבאה.

תכונה	10BaseT	100BaseTX	100BaseFX	100BaseT4
קידוד	מנצ'סטר	4B/5B	4B/5B	8B/6T
סוגי כבלים	UTP 3/4/5	UTP 5 או STP	סיב MM או SM	UTP 3/4/5
תדר האות	20 מה"צ	125 מה"צ	125 מה"צ	25 מה"צ
מס' זוגות כללי	2	2	2	4
מס' זוגות שידור	1	1	1	3
מרחק	100 מ'	100 מ'	412/2000 מ'	100 מ'
דו-מגמי	כן	כן	כן	לא

100BaseTX עובד על 2 זוגות חוטים מסוג **UTP**, קטגוריה 5 (ראה פרק יא פיסקה 5), או כבל מסוכך (**STP**), קטגוריה 1 (**IBM**). זוג אחד משמש לשידור, והשני לקליטה, למרחק עד 100 מ'. שיטת הקידוד היא **4B/5B**, שאותה כבר הכרנו בפרק על **FDDI** (פרק יד, פיסקה 5), ולכן תדר האות הוא 125 מה"צ (כמו ב-**FDDI**). באתרנט משתמשים בקידוד מנצ'סטר, שבו תדר האות כפול מקצב העבודה (20 מה"צ). שימוש בקידוד מנצ'סטר בקצב 100 מסל"ש, היה מחייב כבל העומד בתדר אנלוגי של 200 מה"צ, ולכן בחרו בקידוד **4B/5B**. המחבר הוא **RJ-45** (כמו **10BaseT**) וגם הגדרות הפינים הן כמו **10BaseT**. מוצרי **100BaseTX** הם הנפוצים ביותר, וכוללים: כרטיסי רשת, רכזות, מתגים וכרטיסי ממשק לנתבים ומוצרים אחרים.

100BaseFX נועד לעבודה על 2 סיבים אופטיים, אחד לשידור והשני לקליטה. המרחקים משתנים לפי היישום (כפי שנראה בהמשך).

100BaseT4 עובד על 4 זוגות חוטים (**8w**), מסוג **UTP**, קטגוריות 3, 4 או 5 (כמו **10BaseT**). הוא משדר ב-3 זוגות במקביל, והזוג הרביעי משמש לקליטה ולגילוי התנגשויות. בגלל צורת העבודה שלו **100BaseT4** אינו עובד דו-מגמי, אלא רק חד-מגמי. הקידוד (**8B/6T**) הוא מיוחד (ולא נדון בו כאן).

תקן **100BaseT** מגדיר גם ממשק נייטרלי הנקרא **MII (Media Independent Interface)**, הדומה בעקרון לממשק **AUI** שהיכרנו באתרנט (ראה פרק יב, סעיף 8). לממשק **MII** ניתן לחבר טרנסיברים מסוגים שונים, אולם כבל **MII** חייב להיות קצר מ-0.5 מטר (כבל **AUI** איפשר הרחקה עד 50 מטר).

6. מרחב ההתנגשות של 100BaseT

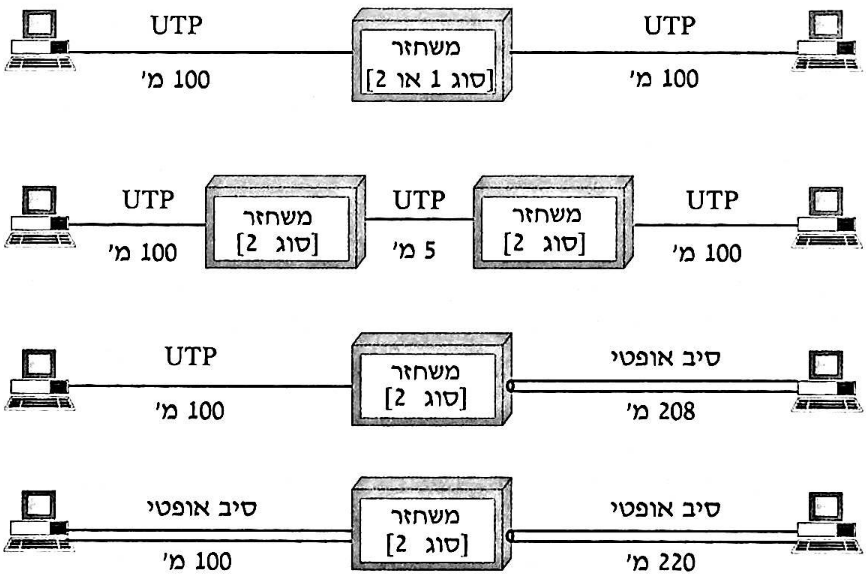
בפרק יב הכרנו את המושג "מרחב התנגשות" של רשת אתרנט, וראינו שהוא חייב להיות קטן מ-**51.2us**. במילים אחרות, השהיית ההתפשטות הלוך וחזור בין כל שתי נקודות במרחב ההתנגשות חייבת להיות קצרה מזמן השידור של 512 סיביות (שהוא **51.2us**). ברשת **100BaseT** ה"חלון" של 512 סיביות נשמר, אולם זמן השידור שלו קטן פי 10, והוא כעת **5.12us**. לכן ברשת **100BaseT** מתקיים הכלל הבא:

ברשת 100BaseT מרחב ההתנגשות חייב להיות קטן מ-5.12us.

הקטנת מרחב ההתנגשות מקטינה גם את מספר המשחזרים המותר ברשתות אתרנט מהיר. התקן מגדיר שני סוגי משחזרים:

- **משחזר מסוג 1** (Class 1) - בעל השהייה של 0.7us (או פחות), בכוון אחד. זהו משחזר התומך בסוגי מדיות שונים (4w, 8w או סיבים).
- **משחזר מסוג 2** (Class 2) - בעל השהייה של 0.46us (או פחות), בכוון אחד. זהו משחזר התומך בסוג מדיה אחד (לדוגמה: כל מבואותיו הם 100Base-TX).

אם ברשת אתרנט (10 מסל״ש) מותר להשתמש עד 4 משחזרים בתוך מרחב התנגשות, ברשת 100BaseT מותר להשתמש **במשחזר אחד או שניים בלבד.** קיימות מספר קונפיגורציות בסיסיות המתוארות בציור 17.10.



ציור 17.10 - קונפיגורציות בסיסיות של 100BaseT

אפשר לסכם את הקונפיגורציות בצורת טבלה המגדירה את **מרחבי ההתנגשות**, כלומר, המרחק המקסימלי בין תחנות באותו מרחב התנגשות.

קונפיגורציה	נחושת	נחושת/סיב	נחושת
PC ל-PC או מתג למתג	100 מ'	------	412 מ' (מד מגמי) 2000 מ' (דו-מגמי)
משחזר סוג 1	200 מ'	260 מ'	272 מ'
משחזר סוג 2	200 מ'	308 מ'	320 מ'
שני משחזרים סוג 2	205 מ'	216 מ'	228 מ'

התקן 802.3U מספק טבלאות המגדירות את ההשהייה של כל סוגי הכבלים. ע"י כך אפשר לחשב בצורה מדוייקת את ההשהייה של כל קונפיגורציה, ולבדוק שאינה גדולה מ-512 סיביות (או 5.12us).

7. מוצרי 100BaseT

החל מסוף שנת 1993 החלו להופיע בשוק מוצרים התומכים בפרוטוקול 100BaseT:

- **כרטיסי רשת 10/100** - כרטיסי רשת (בעיקר עם ערוץ PCI) המסוגלים לפעול הן בפרוטוקול אתרנט הרגיל (10 מסל"ש) והן בפרוטוקול 100BaseT. התקן של 100BaseT מכיל תכונה אופציונלית הנקראת Nway, המאפשרת לכל צד לזהות את סוג וקצב הצד השני באופן אוטומטי. עם ההפעלה כל צד משדר לצד השני את הסטטוס שלו ע"י סדרת פולסים הנקראים Fast Link Pulses, בדומה לפולסים של 10BaseT שראינו בציור 12.9, ושני הצדדים מתאימים את עצמם לקצב המשותף. הכרטיסים הנמכרים כיום תומכים אף בעבודה דו-מגמית בשני הקצבים, כלומר ב-20 או 200 מסל"ש, ומזהים באופן אוטומטי את אופן העבודה.

- **רכזות (Hubs) ל-100 מסל"ש** - משחזרים עם מספר מבואות (בדרך כלל 8 או 16), הפועלים כולם ב-100 מסל"ש חד-מגמי. מאחר ומדובר בטכנולוגיה של משחזרים, הרי הם מהווים מרחב התנגשות, או רוחב-סרט משותף, ורק מסגרת אחת יכולה לנוע ברכזת בו-זמנית. הם משמשים בעיקר לחיבור מספר שרתים, או תחנות מהירות, למבוא של מתג 100 מסל"ש. יתרונם הוא מחירם הזול, והאפשרות לשרשר אותם ולקבל רכזת גדולה יותר.

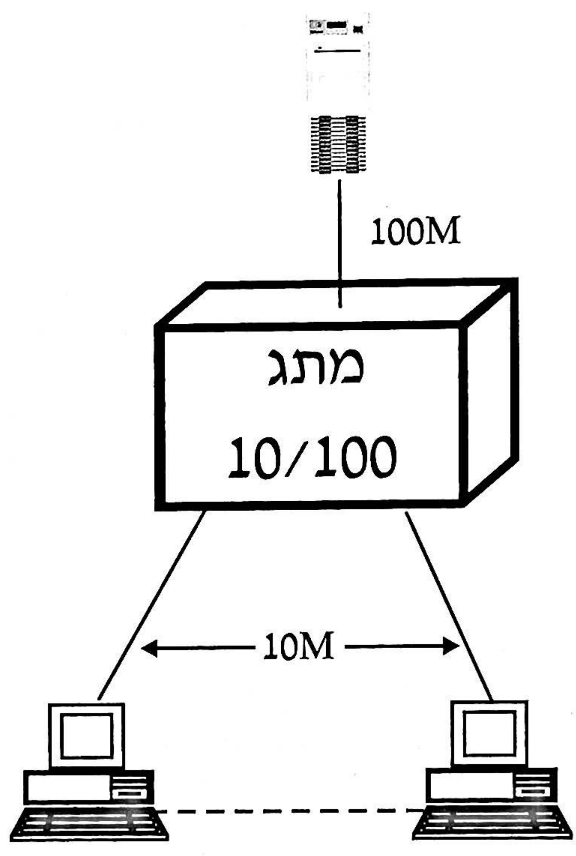
- **מתגי 10/100** - אלה הם האלמנטים הנפוצים ביותר כיום, בגלל תמיכתם בשני הקצבים. הם כוללים מספר מבואות של 10 מסל"ש, ומספר קטן יותר של מבואות 100 מסל"ש, בדרך-כלל עם בחירה אוטומטית של עבודה חד-מגמית או דו-מגמית בכל מבוא. המבואות של 10 מסל"ש מחוברים לתחנות מהירות או לרכזות, והמבואות של 100 מסל"ש מחוברים לשרתים, או לעלייה (Up-Link) למרכז הרשת.

■ **מתגי 100/100-** משמשים בדרך-כלל כתשתית (**Backbone**) של הרשת, ואליהם מתחברים מתגי 10/100, רכזות 100 או שרתים מהירים.

להלן מספר יישומים טיפוסיים של רשתות 10/100 .

א. קבוצת עבודה עם שרת אחד

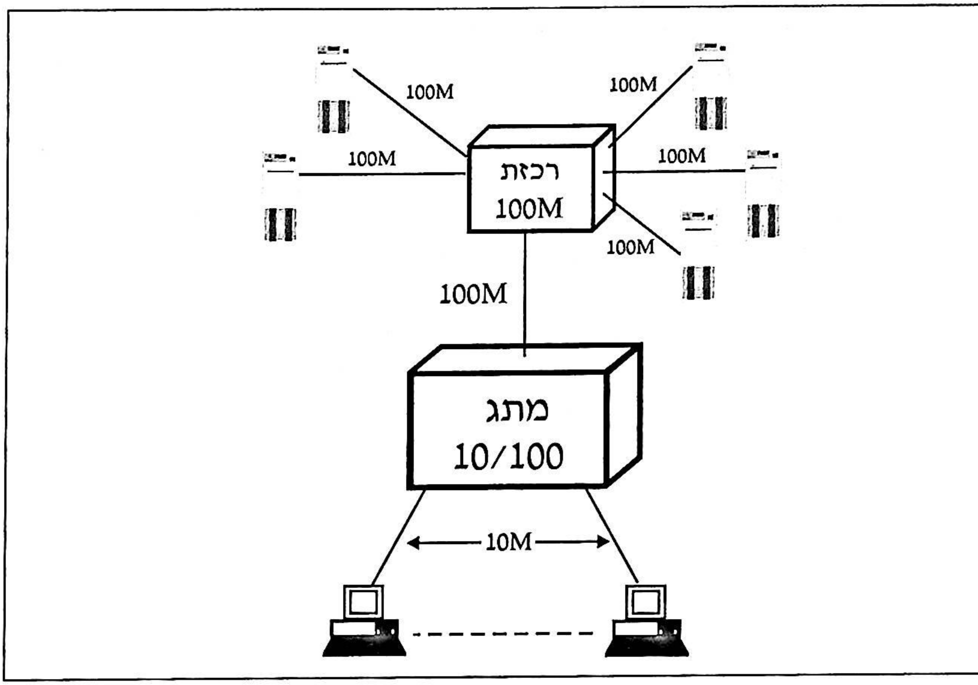
ציור 17.11 מתאר קבוצת עבודה עם שרת אחד. התחנות מחוברות למבואות של **10M** והשרת - למבוא המהיר של **100M**. אם יש עד 10 תחנות, הרשת עובדת בתנאים אופטימליים, ולכל תחנה מובטח 10 מסל"ש מול השרת (בעבודה דו-מגמית). אם יש 15 תחנות, כל תחנה תקבל "זמן שרת" ממוצע של 6.67 מסל"ש (השווה לציור 17.7 וראה כיצד נפתרה בעיית "צוואר הבקבוק" של השרת).



ציור 17.11 - קבוצת עבודה עם שרת אחד

ב. קבוצת עבודה עם מספר שרתים

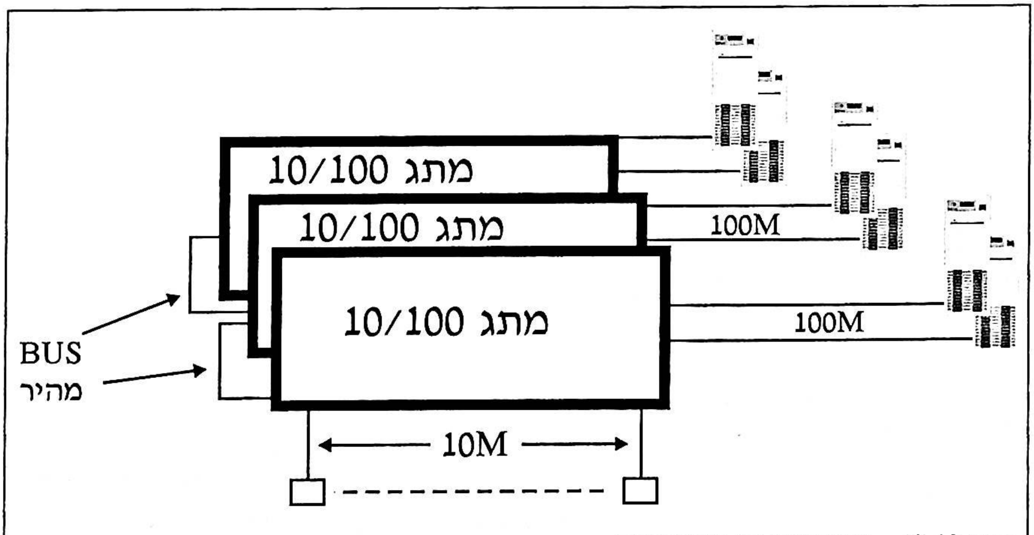
אם רוצים להוסיף מספר שרתים, הדרך הפשוטה ביותר היא לחבר רכזת (**Hub**) למבוא של 100M, כמתואר בציור 17.12.



ציור 17.12 - קבוצת עבודה עם מספר שרתים

זוהי דרך זולה ופשוטה, אך החסרון הוא שהרכזת מהווה מרחב התנגשות, ולכן רוחב-הסרט שלה יהיה נמוך מ-100 מסל״ש, ויתחלק על כמה שרתים. משתמשים ביישום הזה כאשר התנועה נמוכה (לדוגמה - 10 עד 20 מסל״ש לשרת), אם כי הביצועים טובים לאין ערוך מאשר רשת אתרנט רגילה.

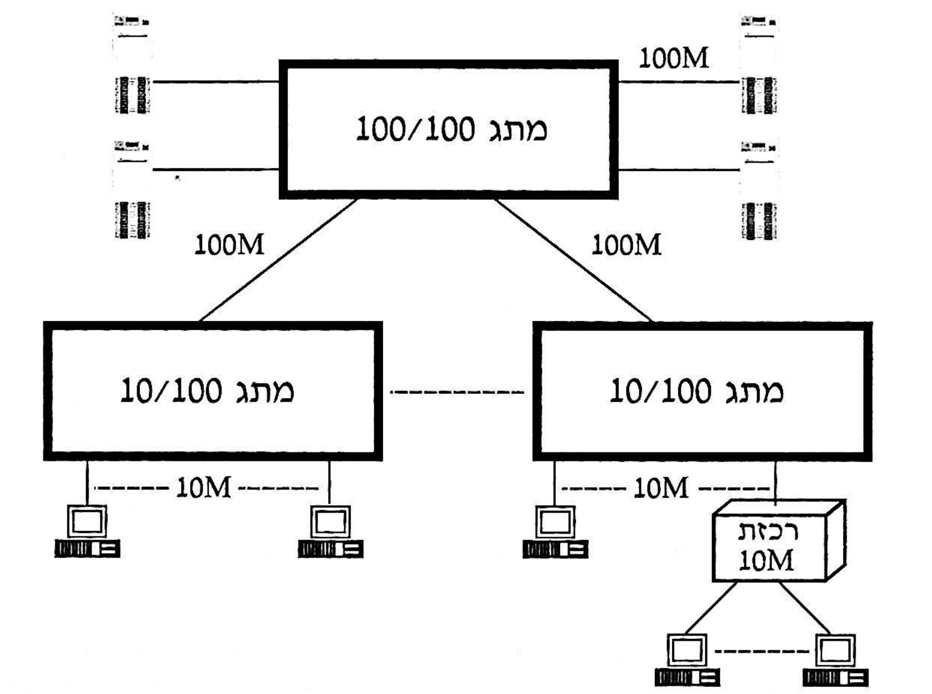
אם רוצים לנצל את מלוא התפוקה של השרתים יש שתי אפשרויות: או לשרשר מתגי 10/100 בעזרת Bus מהיר (ציור 17.13), או לבנות תשתית מיתוג של 100M ולחבר אליה את כל השרתים (ציור 17.14).



ציור 17.13 - מתגי 10/100 משורשרים

ציור 17.13 מתאר מתגי 10/100 משורשרים. לכל מתג יש שני מבואות של **100M**, שאליהם מחוברים שרתים, וכל התחנות מחוברות למבואות של **10M**. המתגים משורשרים ביניהם בערוץ **(Bus)** מהיר, כך שכל התחנות והשרתים מחוברים "כאילו" למתג אחד גדול. היתרון של שיטה זאת הוא שאפשר לגדול בהתאם לצרכים, והחסרון - שהגידול מוגבל לכמות מסויימת של מתגים משורשרים.

האפשרות השנייה היא להקים תשתית מיתוג של **100M**, לחבר אליה את כל השרתים, וכן את כל מתגי 10/100, כמתואר בציור 17.14.

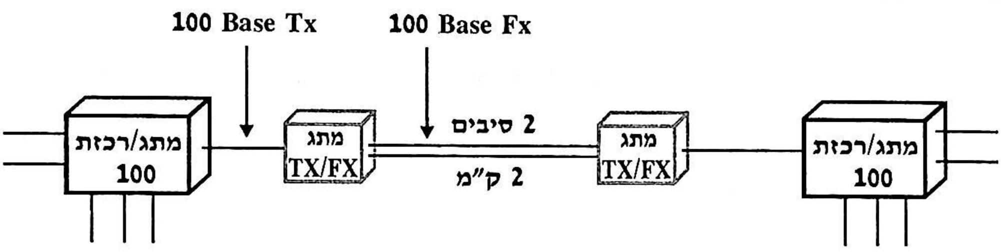


ציור 17.14 - תשתית מיתוג **100M**

ציור 17.14 מתאר מתג 100/100 מרכזי, שאליו מתחברים כל השרתים. למתג מתחברים גם מתגי 10/100, הנותנים שרות ממותג לתחנות **10M** מהירות, או לרכזות **10M**, שאליהן מתחברות תחנות איטיות (היכולות להסתפק ברוחב סרט נמוך יחסית). מאחר ובציור 17.4 האלמנטים הם מתגים, אין בכלל בעיה של מרחב התנגשות, ואפשר להוסיף מתגים ללא הגבלה טופולוגית, כל זמן ששומרים על המרחקים המותרים (100 מ' נחושת, 2000 מטר סיב דו-מגמי).

ג. הרחקת מתגי 100M

ציור 17.15 מתאר כיצד ניתן להרחיק מתגים (או רכזות) הפועלים בקצב **100M**.



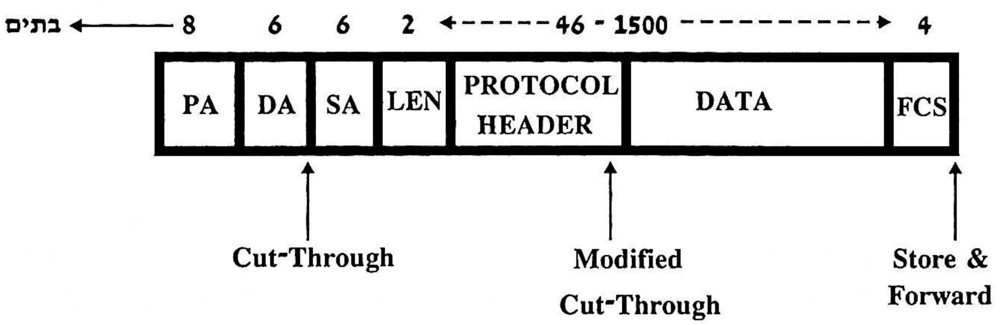
ציור 17.15 - הרחקת מתגי 100M

ההרחקה מתבצעת בעזרת מתגי TX/FX, הממתגים 100BaseTX ל-100BaseFX (ולהפך), ומאפשרים הרחקה עד 2 ק"מ בעזרת זוג סיבים. קיימים גם מתגים בעלי מוצא 100BaseFX, ואז כמובן אין צורך במתגי TX/FX.

8. סווג מתגים

מתגי LAN פועלים בשלוש שיטות (ראה ציור 17.16):

- אחסן ושגר - Store and Forward
- מיתוג מהיר - Cut-Through
- מיתוג משופר - Modified Cut-Through, הנקרא גם Fragment-free Cut-Through.



ציור 17.16 - סווג מתגים

ציור 17.16 מתאר מסגרת אתרנט טיפוסית. בשיטת **"אחסן ושגר"** קולטים את **כל המסגרת**, בודקים אותה, ולבסוף משדרים אותה במוצא אחר. כך בדיוק עובדים גשרים ונתבים, וכן מתגים הפועלים

בשיטה זו. החסרון הוא שיש השהייה, ואם יש מספר גשרים בטור, סכום ההשהיות יכול להשפיע על הביצועים. כבר ראינו כי מסגרת אתרנט יכולה להיות בעלת אורך מינימלי של 64 בתים, ואורך מקסימלי של 1518 בתים (ראה ציור 12.19). לכן ההשהייה בקליטת המסגרת תהיה 51us עד 1214us. על זה יש להוסיף עוד זמן עיבוד ממוצע של 40us, ולכן ההשהייה הכוללת בשיטת "אחסן ושגר" היא 91us עד 1254us (עבור אתרנט ב-10 מסל"ש).

אולם היתרון הוא שמתבצעת בדיקת שגיאות בשדה FCS, ומסגרות לא תקינות מסולקות מהרשת. מתגים הפועלים בשיטת "אחסן ושגר" נמצאים בדרך-כלל בתשתית הרשת, ולעיתים הם גם מבצעים פונקציות של ניתוב (וגם אז הם זקוקים לאחסון המסגרת).

מתגים הפועלים בשיטת **המיתוג המהיר** בודקים רק את כתובת היעד (DA), ומייד משדרים את המסגרת ליעדה. ההשהייה היא נמוכה (40us לערך), אולם החסרון הוא שלא מתבצעת בדיקת שגיאות, ולכן מסגרות לא-תקינות ימשיכו לשוטט ברשת (במיוחד מסגרות Runts, שהן מסגרות קצרות שנוצרו כתוצאה מהתנגשויות). חסרון נוסף של מתגים אלה הוא שאינם יכולים לבצע מיתוג מ-10 ל-100, משום שהקצבים השונים דורשים אגירת המסגרת לפני שידורה מחדש.

בשיטת **המיתוג המשופר** מנסים להנות משני העולמות: המסגרת נאגרת מתחילתה ועד הבית ה-64 שלה (512 סיביות ראשונות), שזה ה"חלון" הקובע האם יש או אין התנגשות. ע"י כך מסננים את מסגרות Runts ומגדילים את רוחב הסרט האפקטיבי. זמן ההשהייה הוא קבוע (91us לערך), אך אינו "מסנן" את מסגרות הנתונים הלא-תקינות, כן שהיתרון של שיטה זאת מוטל בספק.

השימוש בשיטת המיתוג המהיר מקובל במתגי קצה, שבהם חשוב לשמור על מהירות גבוהה והשהייה נמוכה. השימוש בשיטת אחסן ושגר מקובל במתגי תשתית, שבהם נחוץ סינון טוב, מיתוג 10/100 ולעיתים גם ניתוב. קיימים בשוק גם מתגים המסוגלים לפעול בשתי השיטות, ולכל מבוא מגדירים בנפרד (או באופן אוטומטי) את צורת העבודה. הם נקראים מתגי Adaptive cut-throught.

סווגים נוספים של מתגים נעשים לפי:

- **קצבי וסוג המבואות** - מתגי 10/10, 10/100 , או 100/100. הממשקים יכולים להיות 10BaseT, 100BaseTX או 100BaseFX.

- **גודל הזכרון** (Buffer) הקיים **בכל מבוא** - זכרון גדול מאפשר ביצועים טובים, כי מסגרות לא נופלות בגלל זכרון שהתמלא. הזכרון במתגים נע בדרך-כלל בין 32,0000 בתים ועד 500,000 בתים לכל מבוא, ומסוגל לכן לאחסן מ-20 עד 330 מסגרות אתרנט באורך מקסימלי. אולם זכרון גדול הוא גם יקר. לכן יש מתגים המפעילים בקרת זרימה - הם שולחים "התנגשות מדומה" לכוון התחנה המהירה, ומכריחים אותה להוריד את הקצב (זה נכון לעבודה חד-מגמית. לגבי עבודה דו-מגמית יש רק פתרונות פרטיים של יצרנים). שיטה זו נקראת בספרות הטכנית Backpressure.

קיימים גם מתגים שבהם הזכרון הוא משותף (Shared Memory), וכל מבוא יכול לנצל חלק מהזכרון המשותף בעת הצורך.

■ **ארכיטקטורת המבנה** (Backplane) - קיימות שלוש ארכיטקטורות בסיסיות למתגים:

א. מעבד (CPU) וזכרון משותף - במתגים אלה המיתוג נעשה בתוכנה, בדומה לאופן הפעולה של נתבים. למתגים אלה יש אפשרות נוחה לבצע גם פונקציות של ניתוב. דוגמה למתג כזה הוא ה-PowerHub של Fore.

ב. מטריצה - מתגי חומרה, בעלי מבנה הדומה למתגי דיבור. המטריצה בנויה בצורת שתי וערב, ובכל צומת יש מעין מתג, שכאשר הוא מופעל - מתבצע הקשר בין שני המבואות. מתגים מסוג זה הם מהירים ונוחים ליישום, אך הם מוגבלים בגודלם ואינם מסוגלים לבצע המרת קצבים מ-10 ל-100 מסל"ש. דוגמה למתג כזה הוא ה-Etherswitch של Kalpana.

ג. Bus מהיר - לרכזות מסוג זה יש Bus מרכזי מהיר, שעליו נעה כל התנועה של המתג. ה-Bus עובד בשיטת TDM, ומאפשר לכל מבוא חריץ זמן לשידור וקליטת מידע. הארכיטקטורה מאפשרת יישום נוח לשידור אחד-להרבה (שידור כולל), בניגוד לארכיטקטורת המטריצה, המאפשרת בעיקר שידור נקודה - לנקודה. גם ניהול ה-Bus הוא נוח, כי כל התנועה זורמת בנקודה אחת, ואפשר לנטר ולבדוק בקלות יחסית. דוגמה למתג כזה הוא המולטינט של מאדג' (LET-20/36). קיבול ה-Bus נקבע לפי מכפלת מספר הסיביות בקצב השעון. לדוגמה: 64 סיביות כפול 20 מה"צ נותנים קיבול של 1.28 גיגה-סל"ש.

■ **מתג חסים** (Blocking) **או בלתי-חסים** (Non-blocking) - במתג חסים יכולות להיגרם השהיות עקב זמני ההמתנה בתור של מסגרות להכנס לאחד המבואות. במתג בלתי-חסים לא נוצרים תורים והמסגרות נשלחות מייד לדרכן.

■ **כמות הכתובות של כל מבוא** - כבר ראינו שלגבי כל מבוא קיימת רשימת כתובות השייכת לו. הרשימה יכולה להיות ארוכה, ודורשת הרבה זכרון, לכן קיימים מתגים שבהם יש מגבלה של כמות הכתובות. במקרה הקיצוני יכול המתג לתמוך בכתובת אחת למבוא (Port switching), לעומת מתג התומך ב- 1024 כתובות למבוא (Segment switching).

■ **מתג קבוע או מודולרי** - מתגים קבועים תומכים בכמות מסויימת של מבואות 10M, ואחד או שניים מבואות של 100M. קיימים גם מתגים קבועים שבהם כל מבוא עובד 10/100M, ובוחר אוטומטית את הקצב בהתאם לסוג תחנת הקצה. מתגים מודולריים הם גדולים יותר, בעלי מודולים שונים וממשקים מגוונים (כדוגמת LET-36 של מאדג'), מכילים ספק-כח נוסף לגיבוי, ותומכים בפרוטוקול STP (802.1D), כך שניתן לחבר אותם בלולאות (ראה ציור 16.11). חלקם מציעים גם ממשקי TR, FDDI ו-ATM, כך שניתן להשתמש בהם בתשתית קיימת, או עתידית.

9. רשתות מדומות (Virtual LANs)

רשת התקשורת של כל ארגון חייבת לתת תשובה מתאימה לצרכים של הארגון: תקשורת נוחה בתוך כל מחלקה, תקשורת מהירה לשרת המחלקתי, מניעת גישה לשרתים של מחלקות אחרות, קבלת גישה לשרתים משותפים ואפשרות תקשורת מחוץ לארגון. הדרך המקובלת לעשות זאת היתה עד כה בעזרת נתבים, כפי שתואר בציור 17.4. אנשי המחלקה ישבו באותה קומה והתחברו לרכזת מחלקתית, שאליה התחבר גם השרת המחלקתי. מנהל הרשת הגדיר אותם כקבוצה, והם קיבלו מספרי רשת (לדוגמה: מספרי IP) באותה קבוצה. התקשורת ביניהם ובין השרת שלהם התבצעה באמצעות הרכזת, אולם לצורך תקשורת לשרת אחר הם חייבים לעבור דרך הנתב, שיאפשר או ימנע זאת, בהתאם להגדרות.

לשיטה זאת יש מספר חסרונות:

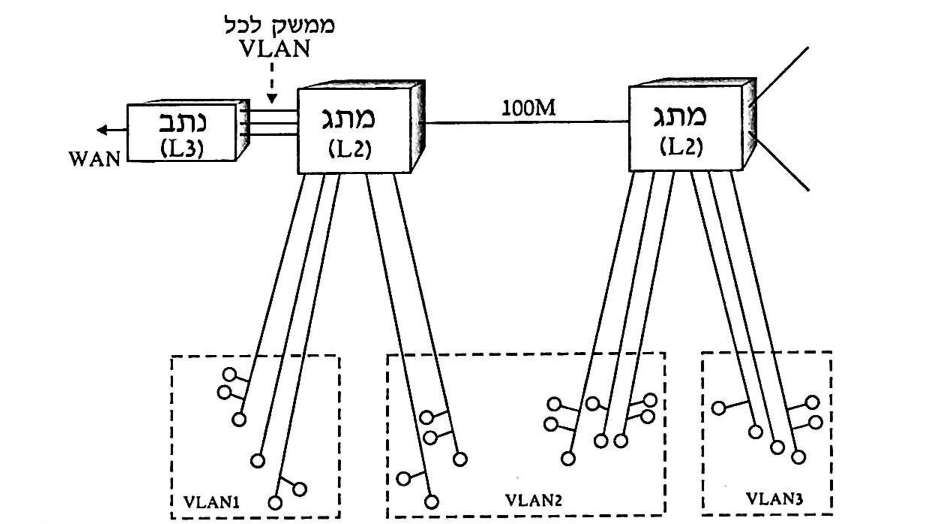
- כל קבוצת עבודה חייבת להיות **בקרבה פיזית**. אם משתמש עובר לקומה אחרת ורוצה להישאר באותה קבוצה, יש לחווט אותו לרכזת הקודמת, למרות שלידו נמצאת רכזת אחרת (השייכת לקבוצה אחרת).

- ניהול הנתבים הוא מסובך, וכל מעבר של משתמש מרשת לרשת דורש עבודה אדמיניסטרטיבית ידנית, מאחר שבכל נתב חייב להיות רישום מדוייק של התחנות השייכות לכל רשת, וכן בכל תחנה יש להגדיר את הנתב.

- נתבים הם אלמנטים יקרים (לעומת מתגים).

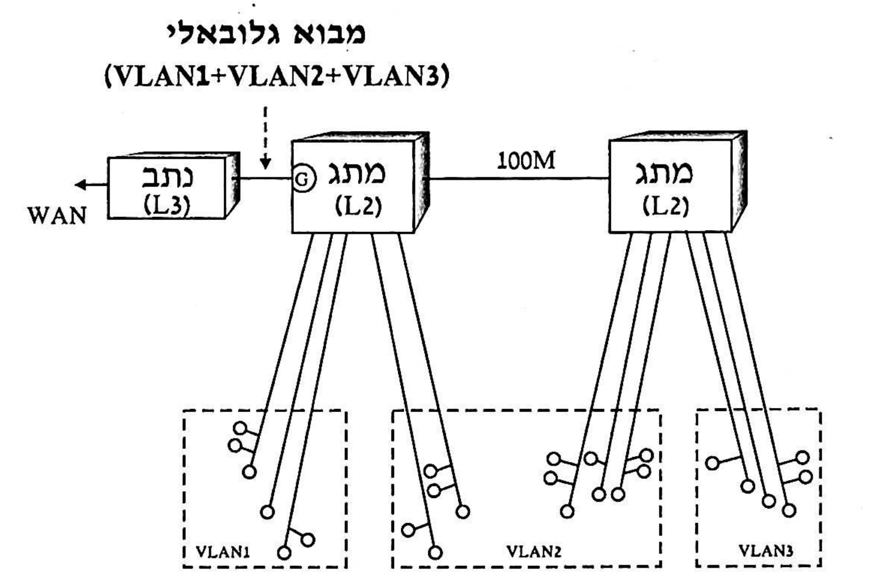
- נתבים מכניסים השהייה משמעותית כשהם מעבירים מסגרת מרשת לרשת.

כתוצאה מכך לארגון יש עלויות גבוהות הנובעות משינויים ותזוזות אנשים ומחלקות. דרך יותר טובה לעשות זאת היא באמצעות מתגי LAN, התומכים בתכונת **"רשתות מדומות"** (VLANS). רשת מדומה היא קבוצה של נקודות קצה (PC, שרתים) , המפוזרות בארגון במקומות שונים , אך מבחינה פונקציונלית מתפקדות כאילו היו **בקבוצת עבודה אחת**. במילים אחרות, זוהי מעין רשת פרטית, שחבריה יכולים להימצא בכל מקום בארגון , מחוברים לרשת הממותגת, וביניהם מתקיים מרחב שידור כולל (Broadcast domain).



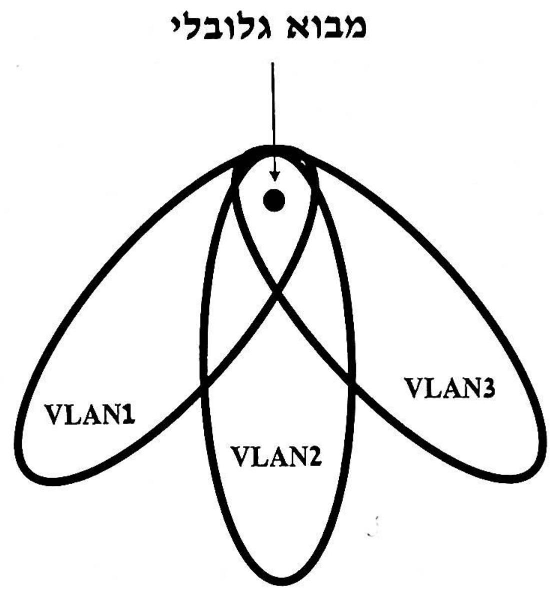
ציור 17.17 - רשתות מדומות (VLANS)

ציור 17.17 מדגים את הרעיון של רשתות מדומות. הציור מתאר שני מתגים הפועלים בשכבה השנייה (L2), והתחנות המחוברות אליהם מחולקות ל-3 רשתות מדומות שונות. בתוך כל **VLAN** התקשורת נעשית במהירות, משום שהמסגרות עוברות דרך מתג (או מתגים). תקשורת בין **VLAN** שונים חייבת לעבור דרך הנתב, היכול להעביר (או לחסום) את התנועה בהתאם להגדרות. לנתב יש 3 ממשקים פיזיים המתחברים למתג, וכל ממשק משוייך ל-**VLAN** אחר. לחילופין, הנתב יכול להתחבר למבוא **גלובאלי** בממשק אחד, כמתואר בציור 17.18.



ציור 17.18 - ניתוב באמצעות מבוא גלובאלי

מבוא גלובאלי (Global port) הוא מבוא המשותף לכל ה-VLAN, כלומר נמצא ב-Broadcast domain של כל ה-VLAN, כמתואר בציור 17.19. השימוש במבוא הגלובאלי הוא פשוט יחסית בפרוטוקול IP, אך מסובך בפרוטוקול IPX. יש לציין כי לא לכל המתגים יש מבוא גלובאלי.



ציור 17.19 - מבוא גלובאלי

השם "רשתות מדומות" נובע מהעובדה שהגדרת קבוצות העבודה (VLAN) נעשית בתוכנת הבקרה של הרשת, ללא קשר למיקום הפיזי של המשתמשים. מנהל הרשת יכול להוסיף, להוריד ולשנות משתמשים או רשתות שלמות, בעזרת פקודות תוכנה בלבד, מבלי לגעת בחוטים או בציוד כלשהו. יכולת זו נותנת מימד חדש לתכנון רשתות מקומיות: מנהל הרשת יכול להתאים את מבנה הרשת לצורכי הארגון באופן דינמי וגמיש, ללא כל מגבלות פיזיות או מגבלות כבילה. כאשר משתמשים עוברים ממחלקה למחלקה ה -LAN "עובר" יחד איתם. יתרה מכך, מנהל הרשת יכול להגדיר רשת מדומה חדשה, המורכבת מאנשים ממחלקות שונות, עבור פרוייקט חדש. הוא יכול לשלוט באבטחת המידע בארגון, ולהגביל גישה של משתמשים לשרתים שונים, וכל זאת בעזרת כלי הניהול שבתחנת הבקרה.

היתרונות של VLAN הם אם-כן:

א. טיפול פשוט ויעיל בהוספות, שינויים והזזות של משתמשים ומשאבים.

ב. חלוקת עומסים יעילה ברשת.

ג. ניצול יותר טוב של רוחב-הסרט, ע"י הגבלת ה-Broadcast ל-VLAN, ולא לכל הרשת.

המתגים שבציורים 17.17 ו-17.18 פועלים בשכבה השנייה (L2), ואת פונקציות הניתוב בשכבה השלישית (L3) מבצע נתב חיצוני, או נתב פנימי (כרטיס או תוכנה) המותקן בתוך המתג. הגדרת התחנות המשתתפות בכל VLAN נעשית לרוב לפי המספר הפיזי של המבוא במתג (Port), וזו גם היתה ההגדרה המקורית של טכנולוגיית VLAN. (קיימים גם מתגים שבהם טבלת ה-VLAN מוגדרת לפי כתובות MAC, או כתובות רשת בשכבה השלישית).

מנהל הרשת מכניס באופן ידני (באמצעות מערכת הבקרה) את טבלאות ה-VLAN בצורה הבאה:

מתג 1

מבוא	שייכות	כתובות MAC
1	VLAN 1	
2	VLAN 1	
3	VLAN 2	
4	VLAN 2	

מתג 2

מבוא	שייכות	כתובות MAC
1	VLAN 2	
2	VLAN 2	
3	VLAN 3	
4	VLAN 1	

כמות ה-VLAN בכל מתג שונה מיצרן ליצרן. לדוגמה: במתג LANSWITCH של מאדגי ניתן להגדיר עד 256 רשתות VLAN שונות לכל מתג. בתוך VLAN מסויים המסגרות עוברות כמו דרך גשר, ע"י בחינת הכתובות DA ו-SA בשכבה השנייה. מאחר והגדרת ה-VLAN נעשתה ע"י המספר הפיזי של המבוא, הרי אם לאותו מבוא מחוברות כמה תחנות (לדוגמה ע"י רכזת קטנה), כל התחנות האלה תהיינה שייכות לאותו VLAN. כאשר מסגרת מגיעה מאחד המבואות, המתג לומד את כתובת MAC שלה (לפי SA) וכותב אותה בטבלת הכתובות, עד שהטבלה מתמלאת במשך הזמן. כאשר מגיעה מסגרת של שידור-כולל (Broadcast) המתג מפיץ אותה לכל התחנות השייכות לאותו VLAN, אבל לא ל-VLAN אחרים.

העברת המידע על הגדרות VLAN בין המתגים השונים ברשת יוצרת בעייה, מאחר ולא קיים תקן לכך. יצרני המתגים משתמשים בכמה שיטות **בשכבה השניה** (L2):

- הודעות (איתותים) מיוחדות
- סימון (Tagging) של המסגרות
- ריבוב TDM

בשיטת **ההודעות**, כאשר תחנה מסויימת מופעלת, המתג מזהה לאיזה VLAN היא שייכת בהתאם לטבלה. המתג שולח מסגרת בקרה מיוחדת לכל המתגים המחוברים אליו, הכוללת את כתובת MAC ואת ה-VLAN של התחנה החדשה. כל המתגים רושמים את הכתובת הזאת בשדה של ה-VLAN המתאים, ומשתמשים בה בשעת הצורך. שיטת ההודעות יוצרת עומס על הרשת, וכן נוצרת בעיית סינכרון ברשתות גדולות. בכל פעם שתחנה מופעלת ומשדרת את המסגרת הראשונה שלה, הודעת איתות חייבת להגיע לכל המתגים

ברשת **לפני** שמסגרת המידע החלה את דרכה. כדי להבטיח סינכרון, המתגים שולחים את הטבלאות שלהם זה לזה בכל דקה לערך, בפרוטוקול RIP (ראה פרק ט"ז פיסקה 6). דוגמאות לשימוש בשיטת ההודעות: מתג 28000 של BAY ומתג LANSWITCH של מאדג'.

בשיטת **סימון המסגרות**, מוסיפים סימן קצר בתחילת כל מסגרת, הכולל את מספר ה-VLAN, כאשר המסגרת עוברת ממתג למתג. הסימון מבטיח שהמתגים יודעים את השיוך של כל מסגרת, וע"י כך גם מבטיחים את הסינכרון. אולם החסרון הוא שמוסיפים לכל מסגרת מספר בתים, וע"י כך מגדילים את העומס ברשת. חסרון חמור יותר הוא שתוספת הבתים של הסימון, יכולה לגרום למסגרת אתרנט שתחרוג ממספר הבתים המקסימלי שהתקן מאפשר לה (אם, לדוגמה, המסגרת כבר כוללת מספר מקסימלי של בתים, ודאי שתהיה חריגה).

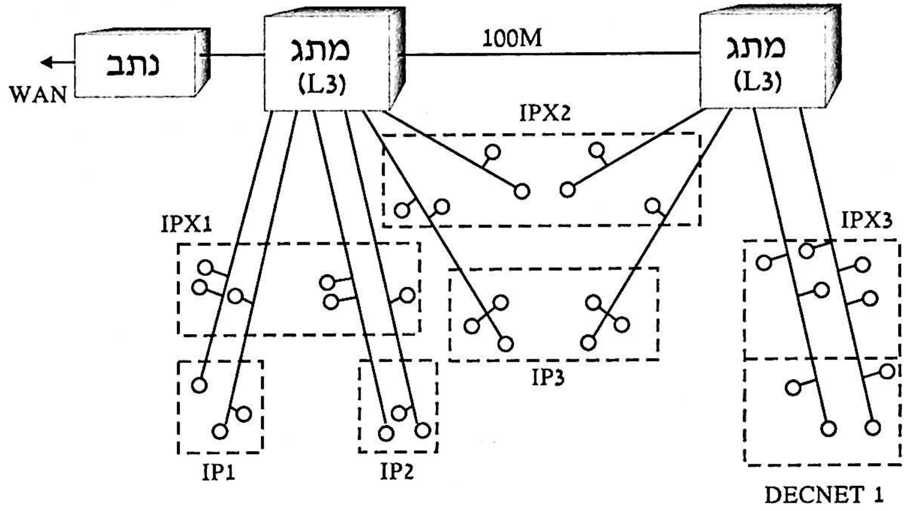
יצרני המתגים משתמשים בשיטות פרטיות משלהם כדי להתגבר על בעייה זאת. המשמעות היא שיש להשתמש אך ורק במתגים של אותו יצרן, כיוון שמתגים ואלמנטים תקניים אחרים ברשת (גשרים ונתבים) עשויים להשמיט מסגרות ארוכות מדי, ולשבש את פעולת הרשת. בעיה זאת, אגב, לא קיימת במתגים הפועלים בשיטת ההודעות, משום שמסגרות הבקרה הכוללות את ההודעות הן תקניות מבחינת מבנה האתרנט שלהם (אם כי תוכן המסגרת הוא פרטי). דוגמאות לשימוש בשיטת הסימון: LANSWITCH של מאדג' (בערוץ 200 מסל"ש לחיבור מתגים), ומתגי Omni של חב' Xylan.

השיטה השלישית להעברת נתוני VLAN בין מתגים הפועלים בשכבה השניה היא שיטת **ריבוב** TDM של התנועה, המיושמת ע"י חברת Retix. רוחב-הסרט בין המתגים מחולק לחריצי-זמן של 10 מסל"ש, וכל VLAN מקבל חריץ זמן אחד (או יותר), המנוצל אך ורק ע"י אותו VLAN. הפניית תנועת ה-VLAN לחריצי זמן מיוחדים, מונעת את הצורך בסימון המסגרות או בשידור מסגרות מיוחדות, ולכן נחסך רוחב-הסרט שנוסף ע"י כך. מובטח גם ששידורי Broadcast של VLAN מסויים, לא ישפיעו על התנועה של VLAN אחרים. אולם החסרון הוא שרוחב-סרט בלתי מנוצל של VLAN אחד אינו יכול לעמוד לרשות VLAN אחר הזקוק לו.

הערה: בהמשך נראה שיטה רביעית הנקראת LANE (LAN Emulation) שהיא ישימה כאשר מחברים מתגי LAN באמצעות תשתית ATM. חשוב לציין כי שיטת LANE היא תקנית.

10. מתגי VLAN בשכבה השלישית

מתגי VLAN הפועלים בשכבה השלישית מבצעים למעשה פונקציות של ניתוב (Routing), ע"י כך שהם "מבינים" פרוטוקולים בשכבה השלישית, כגון כתובות IP או IPX. הגדרת ה-VLAN (נכון יותר יהיה לקרוא לו VNET) נעשית ע"י שיוך כל תחנה לתת-רשת בפרוטוקול מסויים, כגון: IPX2, IPX1, IP2, IP1 וכו'. כמו VLAN בשכבה השנייה, גם VLAN בשכבה השלישית יכול לכלול תחנות הנמצאות על מתגים שונים, כמתואר בציור 17.20.



ציור 17.20 - מתגי VLAN בשכבה השלישית

בציור 17.20 אנו רואים שני מתגים בשכבה השלישית (L3), התומכים ב-3 תת-רשתות IP, 3 תת-רשתות IPX ותת-רשת אחת בפרוטוקול DECNET. כל הרשתות המדומות (VLAN) מזוהות לפי תת-רשת בפרוטוקול מסוים. במעבר בין המתגים משתמשים במספרי תת-הרשתות לציון תנועת ה-VLAN ברשת.

בתוך תת-הרשת (או יותר מדוייק לאמר תת-רשת מדומה) התנועה עוברת מיתוג בשכבה השנייה. **בין** תת-רשתות התנועה עוברת ניתוב בשכבה השלישית, המבוצע בתוך המתג (מבלי שנעזרים בנתב החיצוני). הנתב החיצוני משמש במקרה זה לניתוב החוצה בלבד, פונקציה שהנתב המדומה אינו מסוגל לבצע.

יתרון גדול של VLAN בשכבה השלישית הוא יכולתו לתמוך בכמה תת-רשתות לכל מבוא פיזי, כמתואר בציור 17.20. תכונה זו מקילה על מעבר, הוספה או שינוי משתמשים. אם משתמש השייך ל-VLAN1 עובר למשרד שכל החדרים שלו מחווטים ל-VLAN2, יהיה עליו לשנות את הסווג שלו ל-VLAN2, אם הרשת פועלת בשכבה השניה. אולם, אם הרשת פועלת בשכבה השלישית, יוכל להשאר בקבוצתו המקורית VLAN1. תכונה זו רלוונטית במיוחד לרשתות IP, ופחות לרשתות IPX, בגלל צורת עבודתן השונה.

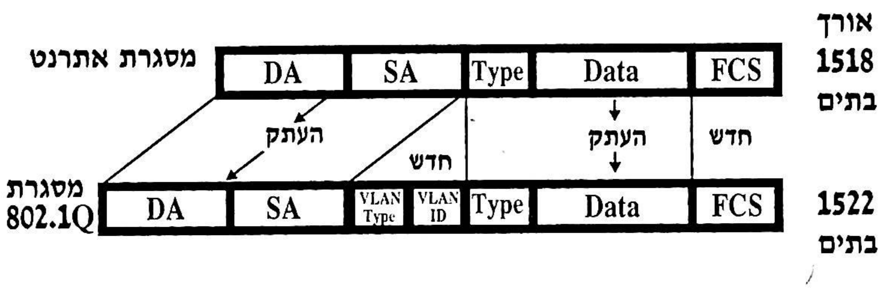
11. תקני VLAN

כפי שכבר צויין לעיל, לא קיימים תקנים ל-VLAN (למעט תקן LANE המוגבל לעבודה על תשתית ATM), לכן מוצרים של יצרנים שונים לא בהכרח יעבדו זה מול זה.

בשנת 1995 הציעה חב' סיסקו להשתמש בתקן IEEE 802.10 עבור VLAN. התקן הנ"ל פותח במקורו עבור אבטחת מידע (LAN Security), והוא כלל אופציה להוספת שדה מיוחד לכותרת המסגרת עבור פונקציות שונות של אבטחת מידע. חב' סיסקו הציעה להשתמש בשדה הנוסף לצורך העברת סימוני

ה-VLAN (Tagging), במקום נתוני האבטחה המקוריים. למרות שהשיטה יכולה לפעול, התנגדו רוב חברי ועדת 802 להשתמש בתקן אחד לשתי מטרות שונות. בנוסף לכך משמעות הדבר היתה להשתמש בשדות בעלי אורך משתנה, דבר שיישומו ברכיבי ASIC הוא יותר קשה, איטי ויקר.

בשנת 1996 סיימה תת-ועדת IEEE 802.1 את הניתוח הראשוני של פיתוח תקן VLAN, וקיבלה מספר החלטות המתייחסות לארכיטקטורת VLAN, שילוב ה-Tagging במבנה המסגרת והמשך תקינת ה-VLAN. ההגדרה התקנית של ה-Tagging, שקיבלה את הכינוי 802.1Q, היא חשובה במיוחד מאחר ותאפשר עבודה הדדית בין מתגים של יצרנים שונים. ואכן רוב היצרנים הגדולים תומכים בתקן זה, אולם יש עדיין הרבה בעיות פתוחות, כך שהתקן צפוי להסתיים רק במאי 1998. ציור 17.21 מתאר את מבנה המסגרת החדשה לפי תקן 802.1Q.



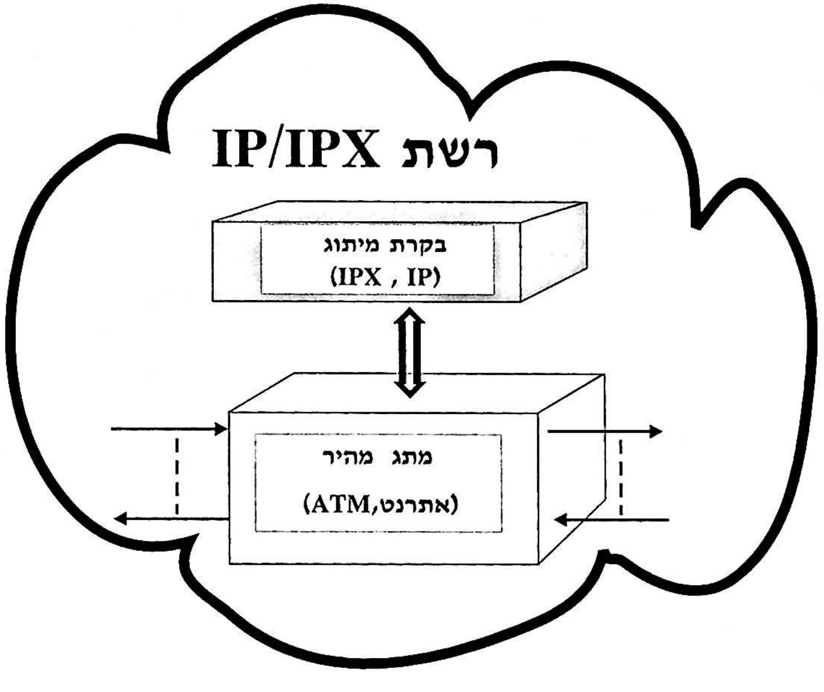
ציור 17.21 - מבנה מסגרת 802.1Q

12. מיתוג IP

טכנולוגיה חדשנית המבוססת על מיתוג מהיר היא מיתוג IP (IP Switching). מתגים אלה מבצעים למעשה ניתוב בפרוטוקול IP, אך מיישמים זאת ע"י שימוש מתוחכם בחומרת המתגים, תוך האצת התהליך בשיטות שונות. בצורה כזאת מגיעים ליכולת העברה של מיליוני מנות בשנייה (PPS), בסדרי גודל יותר מאשר הנתבים הגדולים ביותר. החלוצה בתחום זה היתה חב' Ipsilon, שפיתחה מתג IP, המסוגל להעביר תנועה בקצב של 5 מיליון PPS. חברות נוספות הכריזו על מוצרים דומים בשנת 1997, התומכים בניתוב IP או IPX.

מאחר ולא קיים תקן, כל יצרן מיישם את מתגי IP בצורה שונה, אך הרעיון הוא משותף: במתג קיימת פונקציה של בקרת מיתוג (בהתאם לפרוטוקול IP או IPX), המבצעת מיפוי מכתובות בשכבה השלישית למצייני תנועה בשכבה השנייה, כגון: DA (ברשתות LAN), או VP/VC ברשתות ATM (שנכיר בפרק הבא). ע"י כך במקום לבצע ניתוב (בשכבה השלישית), מבצעים למעשה מיתוג מהיר (בשכבה השנייה). השילוב של בקרה בשכבה השלישית ומהירות העברה בשכבה השנייה הוכח כיעיל מאוד, ומספר גדל והולך של יצרנים אימצו אותו: Madge, RND, Cascade, Ascend, Ipsilon ואחרים. המיתוג יכול להתבצע על פלטפורמות שונות: אתרנט, אתרנט מהיר, טא"ס, FDDI, FR ו-ATM, בהתאם ליישום של היצרן.

ציור 17.22 מתאר את המבנה הגנרי של מתגי IP.



ציור 17.22 - מבנה מתג IP

13. סיכום פרק י"ז

בפרק זה הכרנו את הרשתות הממותגות, שהתפתחו עקב הצורך לתת פתרון לגידול המהיר בתנועה. הרשתות הקלאסיות (אתרנט וטא"ס) פעלו על תווך משותף (Shared Media), שמשמעותו שיתוף ברוחב-הסרט של כל התחנות ברשת. קצב של 10 מסל"ש, שבזמנו התאים לעבודה שיתופית ב-LAN, הפך לנמוך מדי לכל היישומים החדשים המופעלים על מחשבים חזקים, ועשירים בגראפיקה ומולטימדיה.

הפתרון הראשון היה לחלק את הרשת למקטעים (Segments) בעזרת גשרים ובשלב מאוחר יותר ע"י נתבים. הארכיטקטורה של "תשתית מכווצת" (Collapsed Backbone), שבמרכזה נתב המחלק את הרשת לקבוצות (תת-רשתות), הפכה למקובלת בהרבה ארגונים. אולם לארכיטקטורה זו היו מספר חסרונות (כגון: הצורך בניהול העברות ושינויים, השהיות, מחיר, ועוד), ולכן התפתחה טכנולוגייה חדשה בראשית שנות התשעים שנקראה "מתג LAN".

מתג LAN פועל בעקרון כמו גשר, אלא שהיישום שלו נעשה בחומרה, ולכן הוא הרבה יותר מהיר. המתג מאפשר לקבל את מלוא רוחב-הסרט (100,10 מסל"ש, או יותר) בכל מבוא, וע"י כך לשפר את ביצועי הרשת. בנוסף לכך המתג מסוגל לתמוך בעבודה דו-מגמית (Full Duplex), וכן בעבודה עם קצבים שונים. מנהלי הרשתות הבינו מהר מאוד את היתרונות של השימוש במתגים, תפוצתם עלתה ומחיריהם ירדו.

תכונות נוספות שנוספו למתגים עם הזמן הן:

- יכולת עבודה עם קצבים ופרוטוקולים שונים (אתרנט, אתרנט מהיר, טא״ס, **ATM** ועוד).
- יכולת תמיכה ברשתות (**VLAN**), שהן קבוצות עבודה, שחבריהן יכולים להימצא בכל מקום בארגון.

העבודה עם רשתות מדומות מאפשרת למנהל הרשת להוסיף, להוריד או לשנות משתמשים בעזרת פקודות תוכנה בלבד. מנהל הרשת יכול להתאים את מבנה הרשת לצורכי הארגון באופן דינמי וגמיש, ללא כל מגבלות פיזיות או מגבלות כבילה, תוך שמירה על מידור ואבטחת מידע בארגון. חלוקת העומס ברשת תהיה יותר יעילה, משום ששידורי ה-**Broadcast** יוגבלו ל-**VLAN** (ולא לכל הרשת), ולכן גם נצילות הרשת תעלה.

לצורך תקשורת בין **VLAN** שונים יש עדיין צורך בפונקציית ניתוב (**Routing**). פונקציה זו יכולה להתבצע ע״י המתג עצמו (אם להוא מסוגל לפעול בשכבה השלישית), או ע״י נתב חיצוני.

החסרון של טכנולוגיית ה-**VLAN** הוא שעדיין אין קיימים תקנים, מוצרים של יצרנים שונים לא בהכרח עובדים זה מול זה, והמשתמשים חוששים להשקיע בקנה מידה גדול. בעיית התקינה אמורה להיפתר בשנת 1998, כאשר צפוי אישור תקן **802.1Q**, המגדיר את צורת העבודה של **VLAN**.

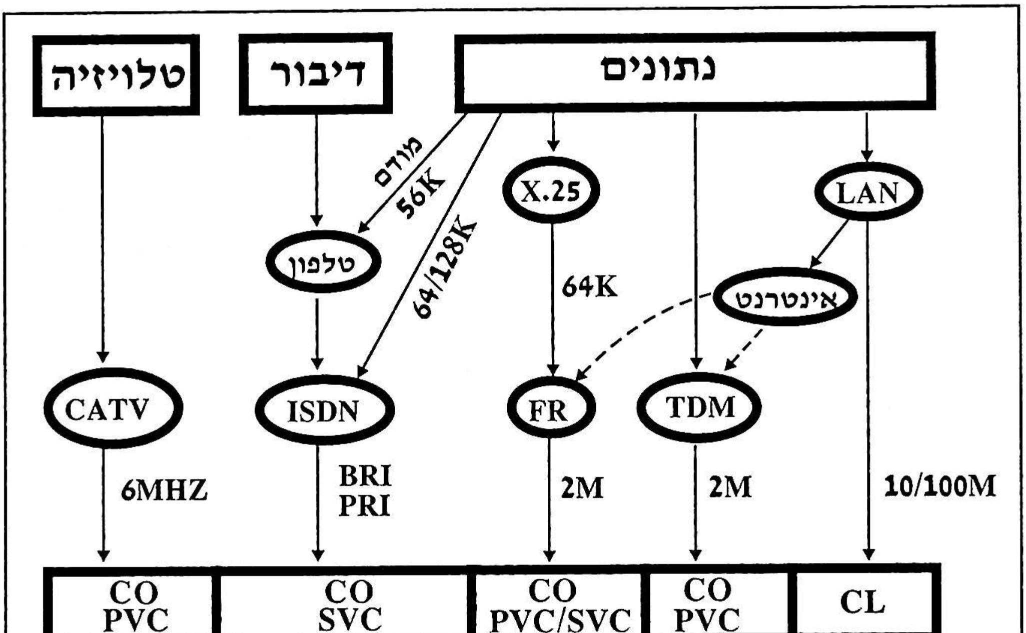
לבסוף הכרנו את טכנולוגיית מיתוג **IP** (**IP Switching**), שבה מבצעים ניתוב בפרוטוקול **IP** (או **IPX**), תוך שימוש מתוחכם בחומרת המתגים. מתגי **IP** מסוגלים להגיע ליכולת העברה של מיליוני מנות בשנייה (**PPS**), הרבה יותר מיכולת ההעברה של נתבים. מתגי **IP** מוצעים כיום ע״י מרבית היצרנים הגדולים, ופלטפורמות המיתוג יכולות להיות מסוגים שונים.

פרק י"ח - ATM

1. רשתות התקשורת של היום

בפרקים הקודמים הכרנו את רשתות התקשורת העיקריות הפועלות כיום, וראינו את האבולוציה המתמדת שלהן למתן שירותים משופרים. אולם הבעייה העיקרית של רשתות ההווה היא שהן תוכננו במקורן כרשתות **"חד-ייעודיות"**, כלומר, רשתות שנועדו לספק שירות מסוג **אחד**, והיכולת שלהן לספק שירותים אחרים היא מוגבלת (או בלתי אפשרית).

ציור 18.1 מתאר את רשתות התקשורת של היום.



ציור 18.1 - רשתות התקשורת של היום

רשת הטלפון, המלווה אותנו כ-150 שנה, תוכננה במקורה להעברת דיבור ממותג, ושירות זה היא מספקת בצורה הטובה ביותר. כדי להעביר נתונים בחיוג, פותחה טכנולוגיית המודמים, והקצב המקסימלי שניתן להעביר כיום הוא 56 קסל"ש. כדי לשלב דיבור ונתונים בקצבים גבוהים יותר פותח ה-ISDN, אולם גם הוא מוגבל לקצב של 128 קסל"ש בחיוג למשתמש הבודד. רשתות תקשורת נתונים אחרות שהכרנו הן X.25 (המוגבלת ל-64 קסל"ש) ו-FR (המסוגלת לפעול בקצבים של 2 מסל"ש ומעלה). קיימות גם רשתות TDM (כגון "סיפרנת" של בזק) המספקות קווי נל"ן ומסוגלות לשלב דיבור ונתונים ברשתות קטנות, וכן רשתות טלויזיה בכבלים (CATV) המספקות כיום אפיקים אנלוגיים ברוחב של 6 מה"צ.

כל הרשתות שתוארו לעיל הן **ציבוריות** והמאפיין אותן הוא צורת עבודה של Connection-oriented (CO), כלומר, יצירת מסלול בין שני המשתמשים לפני תחילת התקשורת. המסלול יכול להיות קבוע (PVC) או ממותג (SVC) בהתאם לסוג הרשת. לעומת זאת, רשתות LAN, שהן רשתות **פרטיות**, עובדות בצורת Connectionless (CL), ללא יצירת מסלול מוקדם בין שני המשתמשים.

ציור 18.1 מראה שארגון מסויים יכול להשתמש בתשתיות שונות, ולהתחבר לעולם החיצוני ע"י "צינורות" שונים. אולם, רוחב-סרט עודף הקיים בשירות אחד, אינו יכול להיות מנוצל לטובת שירות אחר. לדוגמה: בקו הטלפון אי אפשר להעביר טלויזיה ולהיפך. הרשתות הקיימות הן מאוד "קשיחות" וקשה להן לקבל שיפורים טכנולוגיים. לדוגמה, רשתות הטלפון וה-ISDN מתוכננות לקידוד סיפרתי של דיבור בקצב של 64 קסל"ש בשיטת PCM. היום קיימות שיטות קידוד מתוחכמות יותר בקצבים של 32, 16 וגם 8 קסל"ש, אולם רשת הטלפון לא תוכל לנצל אותן בגלל חוסר תאימות.

לסיכום, חסרונות רשתות התקשורת של היום הם:

א. **רשתות חד יעודיות:** כל רשת תוכננה אופטימלית לסוג מסויים של שירות. במקרים מסויימים אפשר לספק שירותים נוספים, בתוספת ציוד (כגון מודמים) ובניצול לא יעיל של משאבים (בדר"כ).

ב. **חוסר-גמישות:** הרשתות הן "קשיחות" וקשה לשלב בהן שיפורים טכנולוגיים, כגון: דחיסת דיבור ווידאו. בעתיד צפוי ביקוש לשירותים חדשים, בעלי דרישות לא ידועות, וקיים ספק אם הרשתות של היום תוכלנה לספק שירותים אלה. לדוגמה: וידאו לפי דרישה (Video on Demand=VOD) הוא שירות שיידרש כמעט בודאות, ואין כיום שום רשת קיימת המסוגלת לתמוך בו.

ג. **חוסר יעילות:** רוחב-סרט הפנוי ברשת אחת, אינו מסוגל (ברוב-המקרים) לספק ביקוש הקיים ברשת אחרת.

BISDN .2

החסרונות של רשתות התקשורת הקיימות היו ידועים גם לאנשי ITU-T (לשעבר CCITT), והם שהביאו בשנת 1986 להכרזה על כוון חדש בפיתוח רשתות הטלקומוניקציה, שנקרא BISDN (Broadband ISDN). הכוונה היתה לפתח רשת גלובלית **אחת**, שתספק את כל מגוון השירותים והקצבים של הרשתות הקיימות, וכן תהיה מסוגלת לספק שירותים עתידיים. לאנשי ה-ITU-T היה ברור שעליהם לפתח טכנולוגיית תקשורת חדשה (הנקראת "שיטת העברה" - Transfer Mode), כיוון שהטכנולוגיות הקיימות לא התאימו.

המושג "שיטת העברה" (Transfer Mode) מתייחס לשילוב של מיתוג, ריבוב ותמסורת, או במילים אחרות, כל המרכיבים הדרושים להעברת המידע מקצה לקצה. בעולם הטלפוניה וה-ISDN משתמשים בשיטת העברה סינכרונית, הנקראת STM (Synchronous Transfer Mode). היא מבוססת על מיתוג מעגלים (Circuit Switching), כלומר הקצאת "מעגל" (מסלול) למשך זמן השיחה, תוך שמירה על סינכרון בין שני

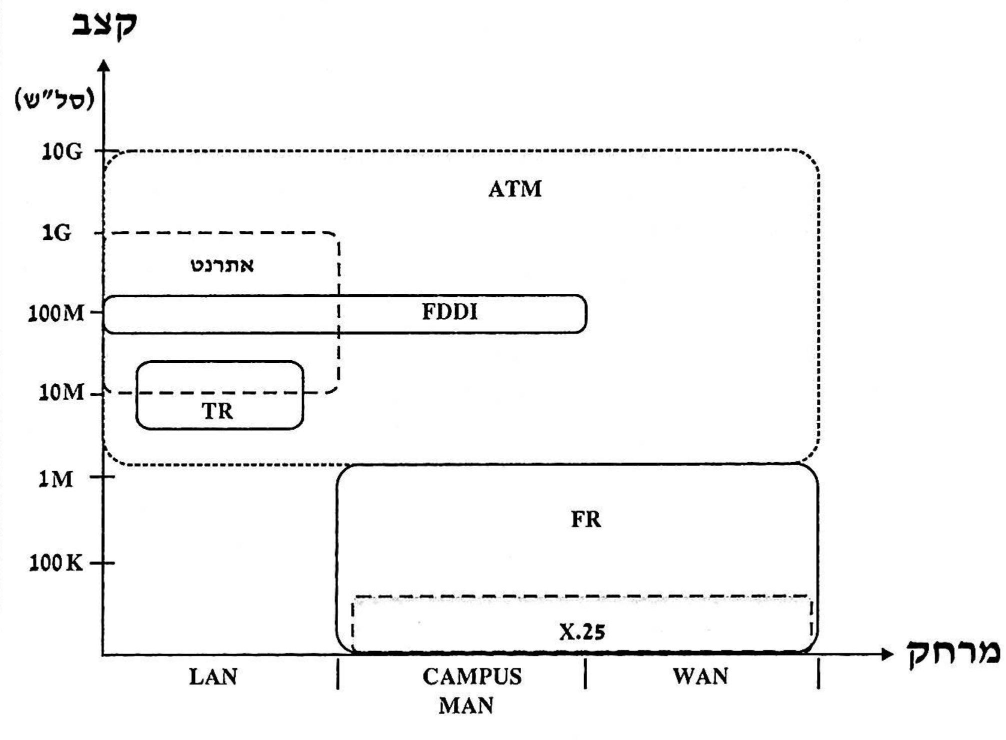
הצדדים בשיטת TDM/PCM. כפי שכבר ראינו בפרק ד' פיסקה 6, לכל מסלול יש הקצאה של "חלון זמן" (8 סיביות בכל 125us), ולכן רוחב-הסרט הוא קבוע - 64 קסל"ש, ואינו ניתן לשינוי. שיטת STM אינה מתאימה להעברת רוחבי-סרט שונים, ולכן לא התקבלה.

שיטה נוספת שנבחנה היא PTM (Packet Transfer Mode), המיושמת כבר ע"י מערכות X.25 ו-FR. בשיטה זאת קיים ריבוב סטטיסטי (שאינו קיים ב-STM), דבר המשפר את נצילות הרשת. אולם האורך המשתנה של המסגרות גורם להשהייה משתנה, ולכן מקשה על יישומי טלפוניה ווידיאו. בנוסף קיימת מגבלה של קצבי עבודה גבוהים.

בסופו של דבר נבחרה בשנת 1986 שיטת ATM (Asynchronous Transfer Mode) כשיטה המועדפת. בשיטת ATM המידע מועבר ע"י תאים קצרים בעלי 53 בתים, ולכן השיטה נקראת גם "מיתוג תאים" (Cell Switching).

האורך הקצר של התאים מבטיח השהייה מינימלית, והאורך הקבוע מאפשר יכולת מיתוג בחומרה. לכן יש ל-ATM היכולת לטפל בתעבורת דיבור ווידאו (כמו בשיטת STM), וכן לטפל בתעבורת נתונים בעלי אורך וקצב הופעה משתנה (כפי שנעשה בשיטת PTM). רשת ATM יכולה להקצות רוחב-סרט מסויים ליישומים הדורשים קצב קבוע (Constant Bit Rate=CBR) ואת יתר הקיבול להקצות ליישומים בעלי קצב משתנה (Variable Bit Rate=VBR). בצורה כזאת משתמשי ATM נהנים משני העולמות - הם מקבלים שירות כמו "מיתוג מעגלים", או כמו "מיתוג מנות", עם יכולת מיתוג מהירה בחומרה ואפשרות לפעול בקצבים גבוהים.

יתרון נוסף של טכנולוגיית ה-ATM, הוא התאמתה הן לרשתות טלקומוניקציה ציבוריות (כפי שהתכוון ITU-T במקור), והן לרשתות מקומיות (LAN). למעשה, זו הטכנולוגיה היחידה המסוגלת להוות תשתית לכל סוגי הרשתות: המקומיות, הארגוניות והמרחביות, כמתואר בציור 18.2.



ציור 18.2 - מיצוב ATM מול הרשתות הקיימות

המאפיינים העיקריים של שיטת ATM הם:

א. שימוש בצורת עבודה של Connection-Oriented (CO). משמעות הדבר היא יצירת מסלול בין שני המשתמשים **לפני** תחילת התקשורת, כפי שהדבר נעשה ברשתות הטלפון, X.25 ו-FR. המסלול נקרא "מעגל וירטואלי" (VC), והוא יכול להיות קבוע (Permanent Virtual Circuit =PVC) או ממותג (Switched Virtual Circuit = SVC).

ב. לצורך קביעת המעגלים הממותגים (SVC) יש להשתמש במנגנון של איתותים (Signaling), בין המשתמש לרשת ובין רשתות שונות. הוחלט כי האיתותים יהיו **באפיק לוגי נפרד** (Out-of-band), כשם שהדבר נעשה ב-ISDN.

ג. הקצאת רוחב-הסרט למשתמשים השונים נעשית בצורה **אסינכרונית**, בהתאם לצרכים (ומכאן בא השם ATM). יש לשים לה שהשימוש במונח "אסינכרוני" בהקשר של ATM שונה מזה שהיכרנו בפרק ב' בסעיף 3. כאן המונח "אסינכרוני" דומה יותר למונח "ריבוב סטטיסטי".

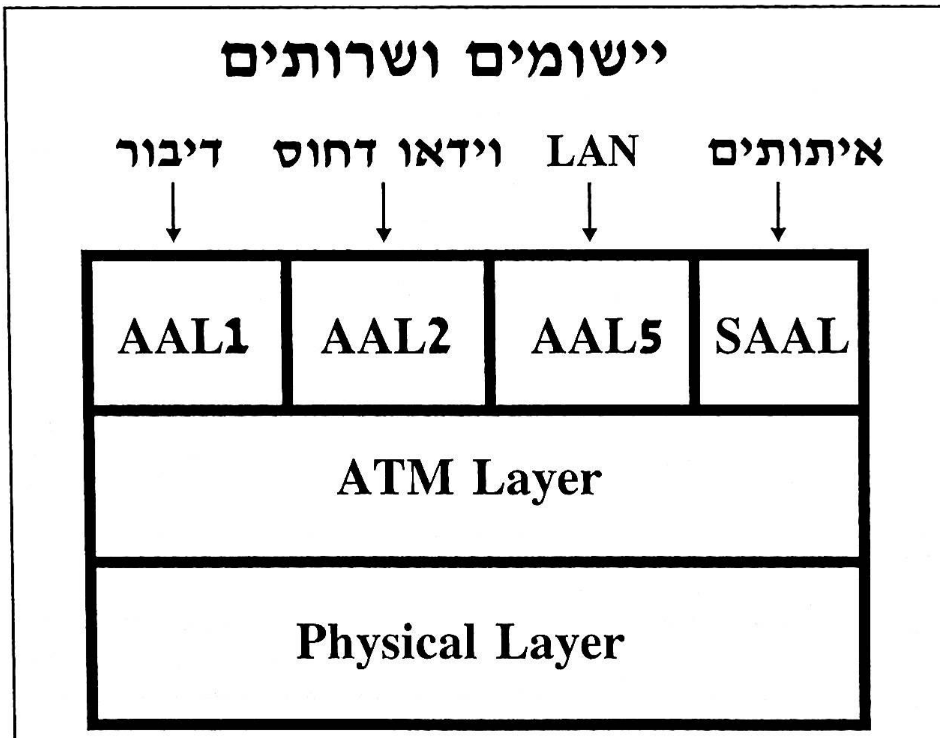
ד. ה-ATM מתוכנן להיות פלטפורמה אחידה לכל סוגי השירותים - דיבור, נתונים, וידאו, ועוד.

בשנת 1988 הוגדרה ע"י ה-ITU-T הארכיטקטורה הבסיסית של ATM (מבנה השכבות והפורמט של תא ATM), ובשנת 1990 כבר התפרסמו תקני ATM הראשונים. בשנת 1991 נוסד ה-ATM Forum, במטרה לקדם את טכנולוגיית ה-ATM במגזר הפרטי, והוא התמקד בכתיבת מפרטים לרשתות ATM LAN. טכנולוגיית ATM נקלטה מהר מאוד בסביבה זאת, כתחליף לרשתות LAN מהירות, ומרבית חברות המחשבים (כגון: יבמ, דיגיטל, HP) וחברות ה-LAN (סיסקו, BAY, מאדגי ועוד) הכריזו על תמיכה ב-ATM. מוצרי ATM החלו להופיע בשוק החל משנת 1992, ושתי החברות הראשונות שהכריזו על מוצרי ATM LAN היו Adaptive (היום בבעלות NET) ו-FORE. למען הדיוק, קדמה להן חב' סטרטקום שהכריזה בשנת 1991 על מתג ATM, אלא שמוצר זה עבד עם תאים לא תקניים באורך של 24 בתים.

מערכות ATM LAN פועלות כבר באלפי אתרים בעולם, וכמה עשרות גם בארץ: מכון וייצמן היה הראשון שהתקין רשת ATM LAN בשנת 1995 (מתוצרת FORE) ובעקבותיו הלכו אוניברסיטאות וארגונים אחרים בארץ. גם בתחום ה-WAN מופעלות כבר בארץ מספר מערכות (ע"י בזק ומגנ"ט), ומערכות נוספות נמצאות בתכנון.

3. שכבות הפרוטוקולים של BISDN

המבנה הכללי של שכבות הפרוטוקולים של BISDN מתואר בציור 18.3, ומפורט בתקן I.321 של ITU-T.



ציור 18.3 - שכבות הפרוטוקולים של BISDN

השכבה התחתונה (השכבה הפיזית) מטפלת בשידור וקליטת סיביות, באחת משלושת השיטות הבאות (לפי ITU-T):

א. SDH (Synchronous Digital Hierarchy), לפי תקנים G.708, G.709.
ב. PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), לפי תקנים G.703, G.804.
ג. שידור ישיר של תאים (Native Cells).

ה-ATM Forum הוסיף לרשימה זו אופציה לשידור בפורמט של FDDI (100 מסל"ש), הנקרא גם TAXI (על שם הרכיב AMD TAXI שבו משתמשים ביישום זה).

שיטת PDH היא שיטת הריבוב הנוכחית (ראה פרק ז' סעיף 1) והיא מאפשרת את קצבי התמסורת הבאים:

תכולה	קצב (מסל"ש)	קבוצה
30 אפיקי דיבור	2.048	E1
4 קבוצות E1	8.448	E2
4 קבוצות E2	34.368	E3
4 קבוצות E3	139.264	E4

שיטת SDH היא השיטה המועדפת כיום, ומחליפה בהדרגה את שיטת PDH. הקצבים הם סינכרוניים (כלומר כפולות שלמות), דבר המקנה לשיטה זו יתרונות רבים:

קצב (מסל"ש)	קבוצה
155.520	STM-1
622.080	STM-4
2488.320	STM-16

שכבת ATM יוצרת את התא (Cell) בעל 53 בתים, מתוכם 48 בתי נתונים ו-5 בתי כותרת. הכותרת מכילה את שדות הניתוב, סוג המידע, עדיפות ותיקון שגיאות.

שכבת AAL (ATM Adaptation Layer) מתרגמת מנות מסוגים שונים (בעלות אורך ופרמטרים שונים) לתאי ATM, ולהיפך. קיימים מספר סוגי AAL, בהתאם לסוגי השירותים השונים.

ציור 18.4 מתאר את סוגי השירותים השונים (Service Classes) המסופקים ע"י ATM, בהתאם לפרמטרים הבאים:

- תזמון (סינכרון) בין שני הצדדים: נדרש או לא.
- סוג השידור: קצב קבוע (CBR) או קצב משתנה (VBR).
- סוג התקשורת: CO (Connection Oriented) או CL (Connectionless).

מאפיין / CLASS	CLASS X	CLASS D	CLASS C	CLASS B	CLASS A
סיינכרון	מוגדר ע"י המשתמש	לא נדרש	לא נדרש	נדרש	נדרש
קצב	CBR/VBR	משתנה (VBR) / ABR/UBR	משתנה (VBR)	משתנה (VBR)	קבוע (CBR)
סוג	CO	CL	CO	CO	CO
AAL	AAL 3/4 , AAL 5	AAL 3/4 , AAL 5	AAL 3/4 , AAL 5	AAL 2	AAL 1
דוגמאות	מוגדר ע"י המשתמש	SMDS LANE	FR X.25	דיבור, וידאו דחוס	דיבור, וידאו

ציור 18.4 - סווג שירותי ATM

השירותים מוגדרים לפי:

Class A - שירות CO, קצב סיביות קבוע (CBR), ונדרש תזמון בין שני הצדדים. דוגמאות: יישומי דיבור ווידאו. נתמך ע"י AAL1 (השירות נקרא גם Circuit Emulation).

Class B - שירות CO, קצב סיביות משתנה (VBR), ונדרש תזמון. דוגמאות: דיבור ווידיאו דחוסים. נתמך ע"י AAL2.

Class C - שירות CO, VBR, ללא תזמון. דוגמאות: TCP/IP, FR, X.25. נדרש AAL 3/4 או AAL5. מסגרות LAN מטופלות גם הן ע"י AAL5.

Class D - שירות VBR, CL, ללא תזמון. דוגמאות: TCP/IP, SMDS. נתמך AAL 3/4 או AAL5.

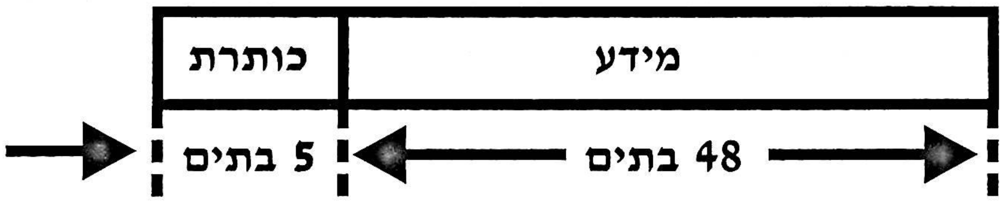
Class X - שירות CO או CL, קצב סיביות משתנה. נועד לשרותים המוגדרים ע"י המשתמש.

בנוסף לשני סוגי השידור שהוזכרו לעיל (CBR ו-VBR) ה-ATM Forum הגדיר שני סוגים נוספים:

- UBR (Unspecified Bit Rate) - הנתונים נשלחים לרשת ללא כל התחייבות מתי ואם בכלל יגיעו ליעדם.
- ABR (Available Bit Rate) - מנצל רוחב-סרט קיים ברשת (כמו UBR), אבל קיימת התחייבות להעביר רוחב-סרט מינימלי, וכן יש איתותים לתחנה השולחת על עומס ברשת (Congestion Feedback).

4. מבנה תא ATM

בשיטת ATM כל סוגי המידע מתורגמים לתאים קצרים (Cells), בעלי אורך קבוע של 53 בתים: 48 בתי מידע ו-5 בתי כותרת, כמתואר בציור 18.5.



ציור 18.5 - מבנה תא ATM

השימוש בתאים בעלי אורך קבוע וקצר מקנה ל-ATM מספר יתרונות:

- יכולת **מיתוג בחומרה** - מתג ATM קורא את הכותרת וממתג מייד את התא ליעדו.
- יכולת העברת **כל סוגי המידע** - תאי ATM יכולים להיות שווי-ערך לריבוב TDM, ולטפל במידע הדורש קצב קבוע (כמו דיבור ווידאו), וכן במידע בעל אופי מתפרץ (כגון LAN).
- שמירה על **רמת שירות** - ניתן להעריך את השהיות המיתוג והתמסורת במערכת, ולהבטיח רמת שירות (Quality of Service = QOS) לכל סוגי התנועה: דיבור, וידיאו, נתונים וכו'.
- **עיבוד מקבילי** - תאים באורך קבוע מאפשרים להשתמש בטכנולוגיות מיתוג חומרה המבוססות על עיבוד מקבילי, ולהגיע לקצבים גבוהים מאוד.

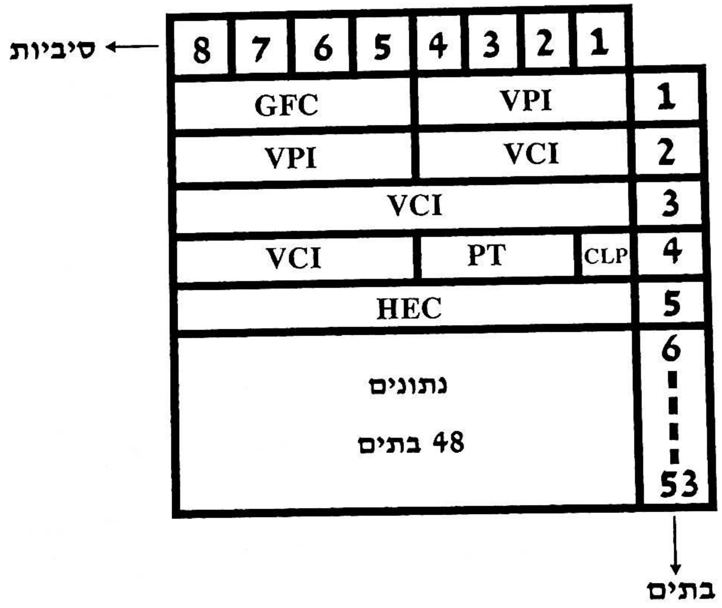
ההחלטה על גודל התא לא היתה פשוטה, ובשנים 1987/8 התנהל ב-CCITT ויכוח בין תומכי שתי הצעות:

א. הצעה לתא קצר בעל 32 בתים, שנתמכה בעיקר ע"י חברות הטלפוניה, שטענו כי הדבר ישפר את איכות הדיבור, יקטין את ההשהייה וימנע את הצורך בציוד לביטול הד (Echo Cancellation).

ב. הצעה לתא בעל 64 בתים, שנתמכה ע"י אנשי ה-LAN, שטענו כי חשוב לשמור על Overhead נמוך, ועל נצילות טובה של הרשת.

בסופו של דבר הוחלט על אורך תא של 48 בתים (המהווה פשרה בין שתי הגישות), ובתוספת 5 בתי כותרת (גם כן תוצאה של פשרה), וכך התקבל התקן ה"מוזר" של 53 בתים לתא ATM.

הפורמט של תאי ATM בממשק UNI (User-Network Interface), הממשק שבין המשתמש לבין הרשת, מתואר בציור 18.6.

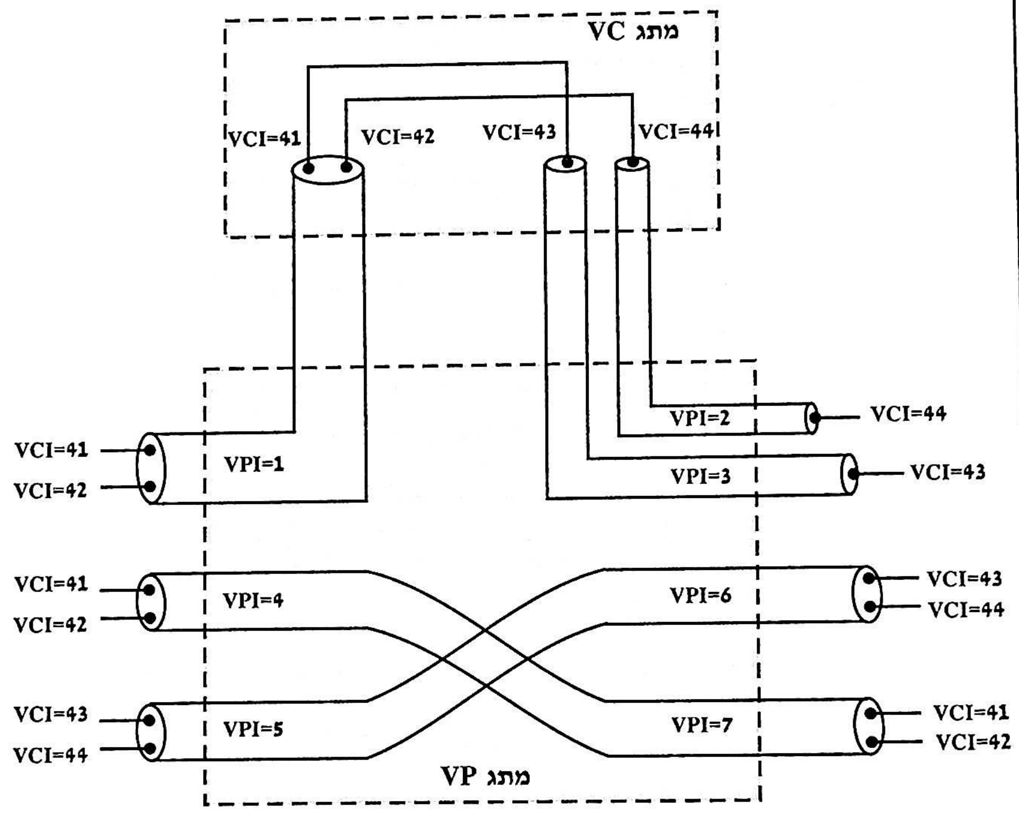


ציור 18.6 - פורמט תאי ATM (UNI)

השידור מתחיל בסיבית מס׳ 8 של בית מס׳ 1 ונגמר בסיבית מס׳ 1 של בית מס׳ 53 (סה״כ 424 סיביות). השדות של כותרת התא הם:

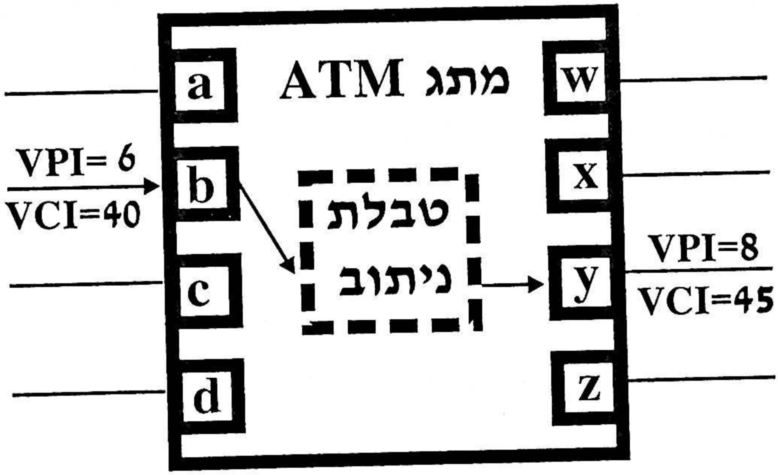
- GFC (Generic Flow Control) - שדה בעל 4 סיביות הקיים רק ב-UNI, שנועד לבקרת זרימה.
- VPI (Virtual Path Identifier) - שדה בעל 8 סיביות המגדיר ״מסלול וירטואלי״. ״מסלול״ הוא צינור ״שמן״ שדרכו עוברים מספר אפיקים.
- VCI (Virtual Channel Ideatifer) - שדה בעל 16 סיביות המגדיר ״אפיק וירטואלי״. 64,000 אפיקים וירטואליים (VC) יכולים להימצא במסלול וירטואלי (VP), ו-256 מסלולים וירטואליים יכולים להימצא בממשק UNI אחד.
- PT (Payload Type) - מציין את סוג התעבורה הנמצאת בשדה הנתונים (מידע של משתמש או מידע ניהולי), סוג ה-AAL, וכן מציין מצב Congestion ברשת (כמו FECN ברשת FR).
- CLP (Cell Loss Priority) - סיבית אחת, המציינת שאפשר להשמיט את התא במקרה של עומס (אם CLP=1).
- HEC (Header Error Control) - שדה בעל 8 סיביות, לגילוי שגיאות בכותרת התא. אם תחנת ATM קולטת תא שגוי, היא משמיטה אותו מייד, והפרוטוקול העילי חייב לשלוח תא אחר.

כדי להבין את משמעות המסלולים (VP) והאפיקים (VC) הוירטואליים. נתבונן בציור 18.7.



ציור 18.7 - מסלולים ואפיקים וירטואליים

הציור מתאר מתג VP, המסוגל למתג מסלולים שלמים. לדוגמה: מסלול VPI=4 מתמתג למסלול VPI=7, מבלי שהאפיקים בתוכו משתנים. לעומת זאת, מתג VC ממתג אפיקים וירטואליים, תוך שהוא משנה את הכינויים שלהם. באופן כללי, מתג ATM מבצע תרגום של זוג VPI/VCI בכניסה, לזוג VPI/VCI שונה ביציאה, כפי שהדבר מתואר בציור 18.8. "מעגל וירטואלי" (VC), כפי שהוגדר בסעיף 2, מורכב מצירוף של VPI/VCI שונים, שהוגדרו ע"י המתגים לאורך הדרך.



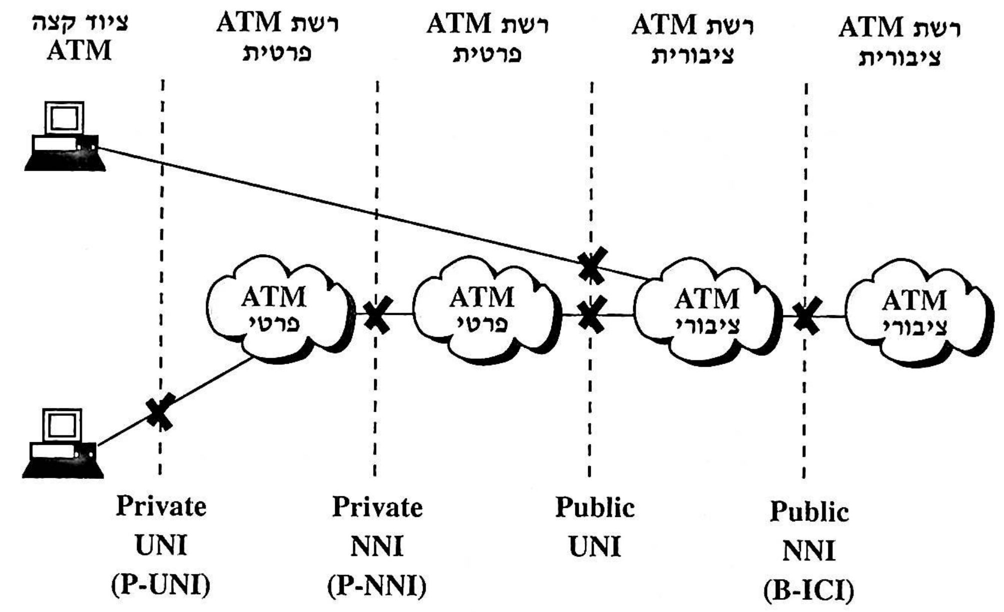
כניסה		יציאה	
מבוא	VPI/VCI	מבוא	VPI/VCI
a	-----	w	-----
b	6,40	y	8,45
c	----	x	----
d	-----	z	----

ציור 18.8 - פעולת מתג ATM

המתג מפענח את כותרת התא, קורא את נתוני המסלול והאפיק בכניסה, ולפי טבלת הניתוב מחליט לאן למתג את התא. המתג בונה כותרת חדשה לתא, ומפנה אותו ליציאה הנדרשת. כל זה מבוצע בחומרה, במהירות גדולה.

5. ממשקי רשת ATM

בטופולוגיית ATM מוגדרים 4 ממשקים עיקריים (ראה ציור 18.9):

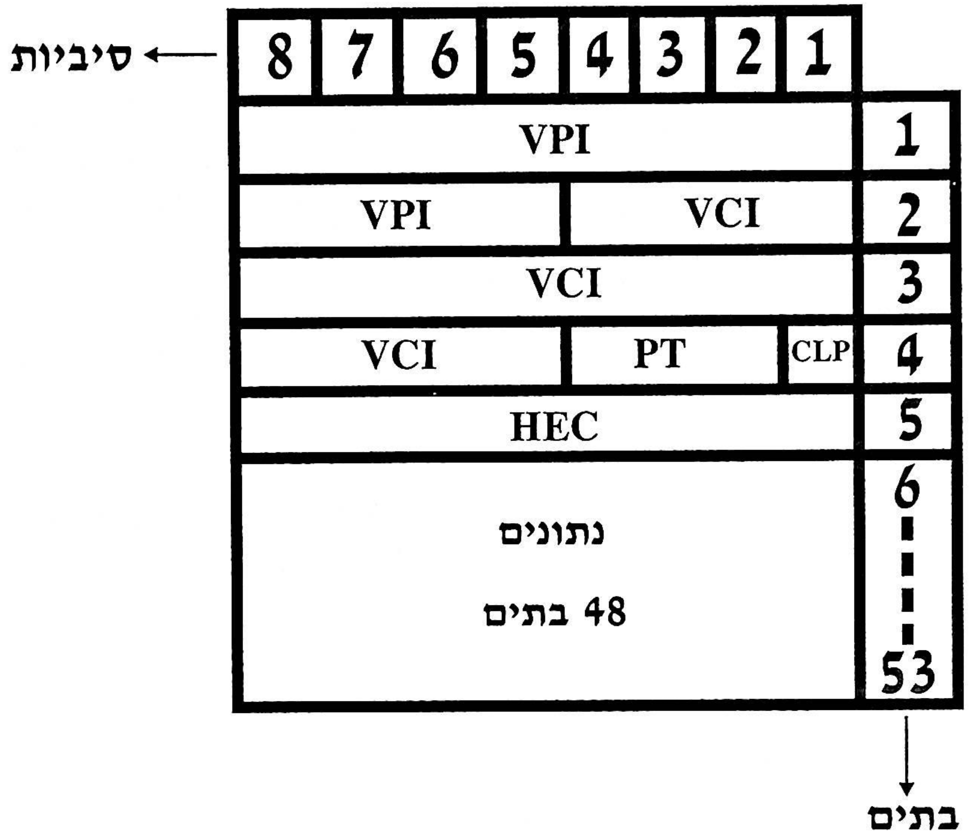


ציור 18.9 - ממשקי רשת ATM

ממשק P-UNI (Private User-to-Network Interface), הוא הממשק שבין ציוד קצה ATM, לבין רשת ATM פרטית (רכזות ATM או מתג ATM פרטיים). מבנה התא בממשק UNI מתואר בציור 18.6, וכפי שראינו, שדה ה-VPI הוא בעל 8 סיביות, ושדה ה-VCI הוא בעל 16 סיביות. במילים אחרות, בממשק UNI אחד ניתן להגדיר עד 256 מסלולי VPI, וכל מסלול VPI יכול להכיל עד 64,000 "צינורות" (אפיקים) של VCI. יש לציין כי 32 אפיקי VCI הנמוכים בכל VPI נשמרים למטרות של ניהול ובקרה, ואינם ניתנים לשימוש רגיל. לדוגמה: אפיק האיתותים התקני הוא VPI=0, VCI=5, וערוץ הניהול (הנקרא ILMI) משתמש באפיק הוירטואלי VPI=0, VCI=16.

ה-ATM Forum פירסם מספר גירסאות לממשק UNI במשך השנים, המטפלות הן בממשק UNI הפרטי (P-UNI) והן בממשק UNI הציבורי. הגירסאות מטפלות בהגדרת הממשקים הפיזיים (SDH, PDH ועוד), שכבת ATM, ניהול ותחזוקה, איתותים בין המשתמש לרשת, ועוד.

ממשק P-NNI (Private Network - Network Interface) הוא הממשק בין שתי רשתות ATM פרטיות. מבנה התא של P-NNI מתואר בציור 18.10.



ציור 18.10 - מבנה תא P-NNI

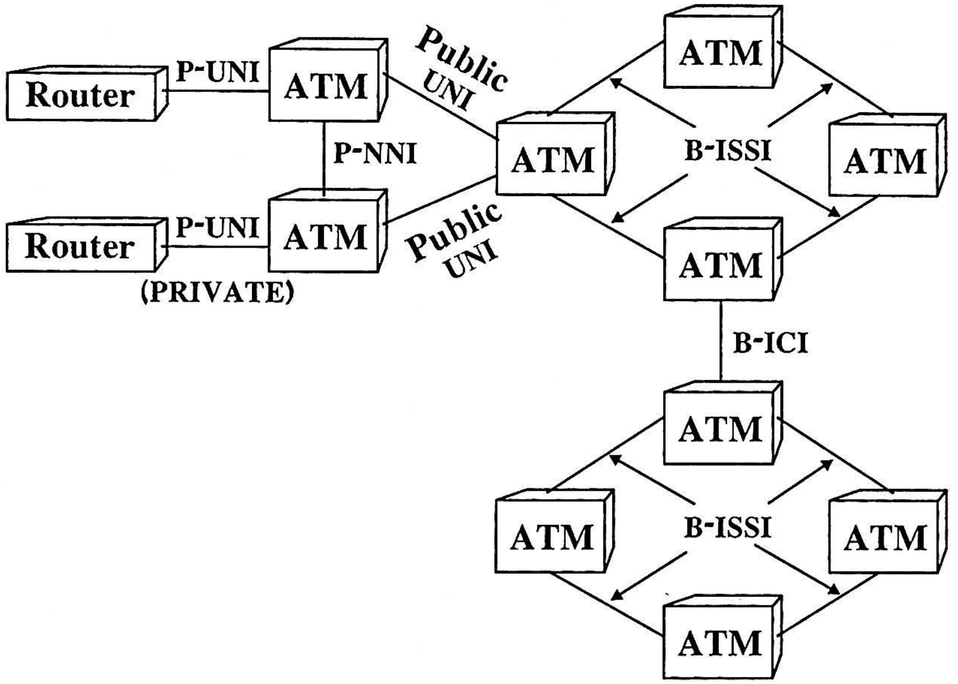
השוואת תא UNI (ציור 18.6) לתא NNI (ציור 18.10) מראה כי בתא NNI אין שדה GFE, ו-4 סיביות נוספו לשדה VPI, שאורכו כעת 12 סיביות (4096 מסלולי VPI אפשריים, במקום 256 מסלולי VPI בממשק UNI). הדבר מאפשר להגדיר יותר מסלולי VP בין הרשתות הפרטיות.

ממשק Public UNI - הממשק בין המשתמש ורשת ATM ציבורית, או בין רשת ATM פרטית ורשת ATM ציבורית (ראה ציור 18.9). הגדרות הממשק כלולות בהגדרות של P-UNI.

ממשק Public NNI - ממשק בין רשתות ATM ציבוריות. קיימות שתי הגדרות:

- B-ISSI (Broadband Interswitching System Interface) - אם מתגי ATM שייכים לאותה רשת ציבורית.
- B-ICI (Broadband Intercarrier Interface) - אם מדובר בחיבור בין שתי רשתות ATM ציבוריות שונות.

ציור 18.11 מבהיר את הגדרות הממשקים הנ"ל.



ציור 18.11 - רשתות ATM

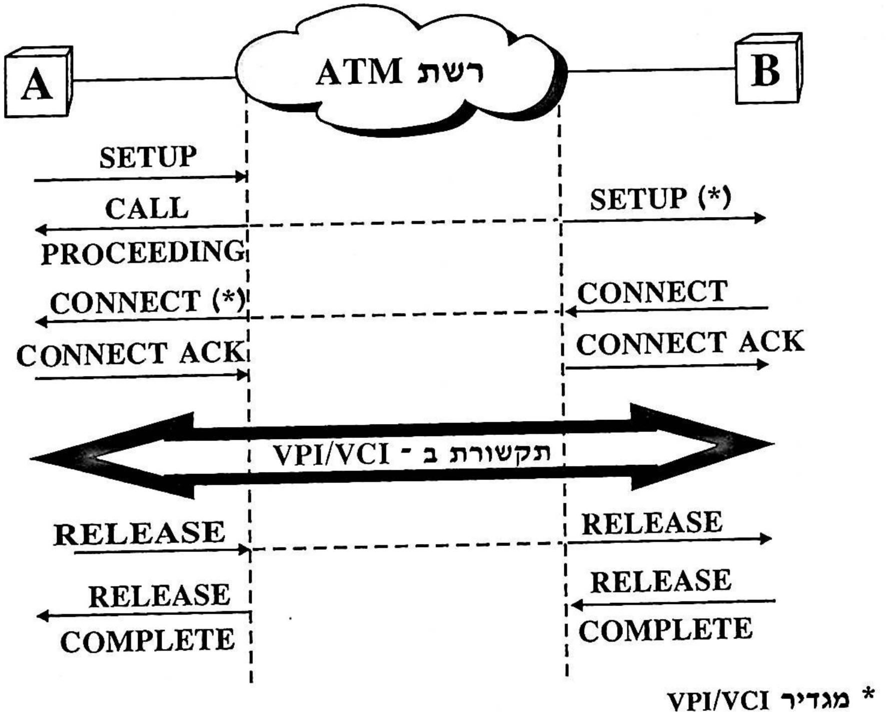
6. איתותי P-UNI

תהליך האיתותים מוגדר במפרטי UNI של ה-ATM Fourm. התהליך מקביל לפרוטוקול האיתותים Q.2931 של ITU-T, המבוסס על פרוטוקול Q.931 של ISDN (חזור על פרק ז' פסקאות 7 ו-9). האיתותים מתבצעים ב-C-Plane, בדומה למתואר בציורים 7.18 ו- 7.19.

תהליך יצירת הקשר בין שתי תחנות ATM (Point-to-Point) מתחיל בכך שתחנה A שולחת בקשת Setup באפיק המיוחד לאיתותים (VPI=0, VCI=5), בממשק UNI. ההודעה כוללת את כתובת תחנה B (בפורמט המוגדר בתקן P-UNI), קצב ההעברה הנדרש, פרמטרי רמת-השירות (Quality of Service-QOS) הנדרשים, וכן נתונים נוספים. מתג ATM הקולט את ההודעה, מפעיל פרוטוקול ניתוב מיוחד (P-NNI) ומפיץ את בקשת השירות לאורך הרשת עד למתג שאליו מחוברת תחנת היעד (B). בכל מתג לאורך המסלול מוכנסים ערכי VPI/VCI לטבלאות הניתוב (כפי שתואר בציור 18.8), וכך נוצר מעגל וירטואלי ממותג (SVC). המתג האחרון יפנה את בקשת Setup לתחנה B (באפיק האיתותים VCI=5, VPI=0), ויגדיר אפיק VPI/VCI לקיום התקשורת. אם תחנה B מסכימה לקיים את השיחה היא שולחת הודעת Connect, המועברת ברשת חזרה, ולבסוף המתג הראשון מעביר הודעת Connect משלו (הכוללת את הקצאת האפיק VPI/VCI) לתחנה A. תחנה A מאשרת, ואז מתחיל תהליך התקשורת באפיק שהוקצה מקצה-לקצה.

כל הודעות האיתותים שתוארו לעיל מועברות באפיק המיוחד לאיתותים (VPI=0, VCI=5). העברת הנתונים מתבצעת באפיק שההקצאה שלו בצד B נעשתה ע"י הודעת Setup, ובצד A ע"י הודעת Connect. שים-לב שהרשת (בכל צד) היא אשר קובעת את הקצאת VPI/VCI שבו תתנהל התקשורת. הערוץ החוזר הוא בדרך-כלל בעל אותם VPI/VCI (באותו ממשק), אם כי רוחב הסרט בכוון חזרה יכול להיות שונה.

תהליך התקשורת מסתיים כאשר אחד הצדדים שלח הודעת Release, והצד השני אישר בהודעת Release Complete. אפיק התקשורת מתנתק, וכל ה-VPI/VCI לאורך המסלול מתפנים ליצירת אפיקי תקשורת אחרים.



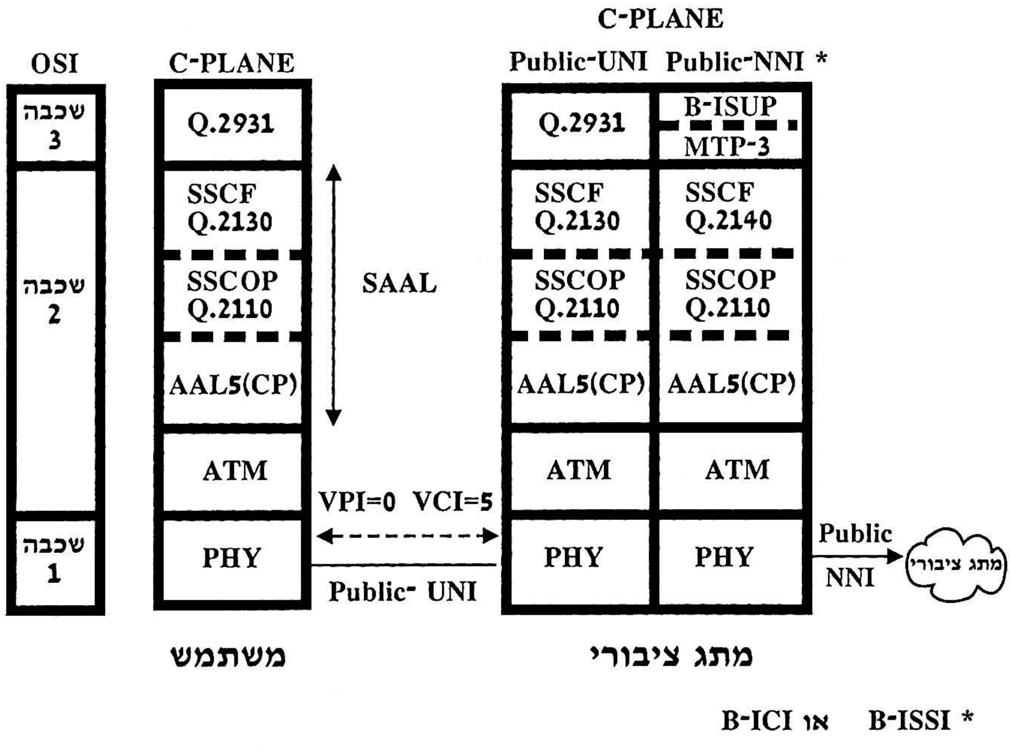
ציור 18.12 - איתותי UNI

מבנה הפרוטוקולים הקשורים באיתותי P-UNI מתואר בציור 18.13. בשכבה השלישית נמצא פרוטוקול Q.2931 (שנקרא בעבר Q.93B), והמבוסס על פרוטוקול Q.931 של ISDN. בשכבה השנייה יש 4 פרוטוקולים:

- בחלק התחתון פרוטוקול ATM
- מעליו החלק המשותף (Common Part=CP) של AAL5.
- מעליו שכבת SSCOP (Service-Spcific Connection-Oriented Protocol), המבצעת פונקציות קלאסיות של Data Link: בדיקת רציפות המסגרות, תיקון שגיאות ע"י שידור חוזר, בקרת תנועה, ניהול, ועוד. הפרוטוקול נקרא גם Q.2110.
- בחלק העליון של השכבה השניה נמצא פרוטוקול SSCF (Service-Specific Coordination Function), המבצע פונקציות של תאום בין Q.2931 לבין שכבת ה-Data Link (נקרא גם Q.2130).

שלושת הפרוטוקולים העליונים בשכבה השניה נקראים לעיתים בשם כולל SAAL (Signaling AAL).

בצד הרשת חייבת להיות מערכת דומה של פרוטוקולים P-UNI, ובצידה מערכת איתותים ברמת הרשת Public NNI (B-ICI או B-ISSI בהתאם לסוג המתג). פרוטוקול האיתותים ברמת הרשת נקרא B-ISUP (Broadband ISDN User Part), הוא משתמש בפרוטוקול ניתוב הנקרא MTP-3 (השייך לפרוטוקולי רשת האיתותים SS7), והתאום בינו לבין השכבה השניה נעשה ע"י פרוטוקול Q.2140.



ציור 18.13 - מבנה הפרוטוקולים לאיתותי P-UNI

7. LAN Emulation (LANE)

כמות גדולה מאוד של רשתות ויישומי LAN קיימים כיום בעולם, והכמות עולה בהתמדה עקב הוזלת המחירים ושיפור הביצועים של הרשתות (ובמיוחד אתרנט). אין לטכנולוגיית ATM כל סיכוי להתפתח אם לא תימצא הדרך לשילוב בין ATM לבין רשתות LAN קיימות. ה-ATM Forum הבין זאת היטב, ופיתח את שיטת ה- LANE, המאפשרת שני דברים בסיסיים (ראה ציור 18.14):

■ חיבור בין רשת LAN (אתרנט או טא״ס) לבין רשת LAN אחרת (אחת או יותר) כשביניהן יש רשת ATM.
■ קישור בין שרת עם ממשק ATM לבין תחנות המחוברות ל-LAN.

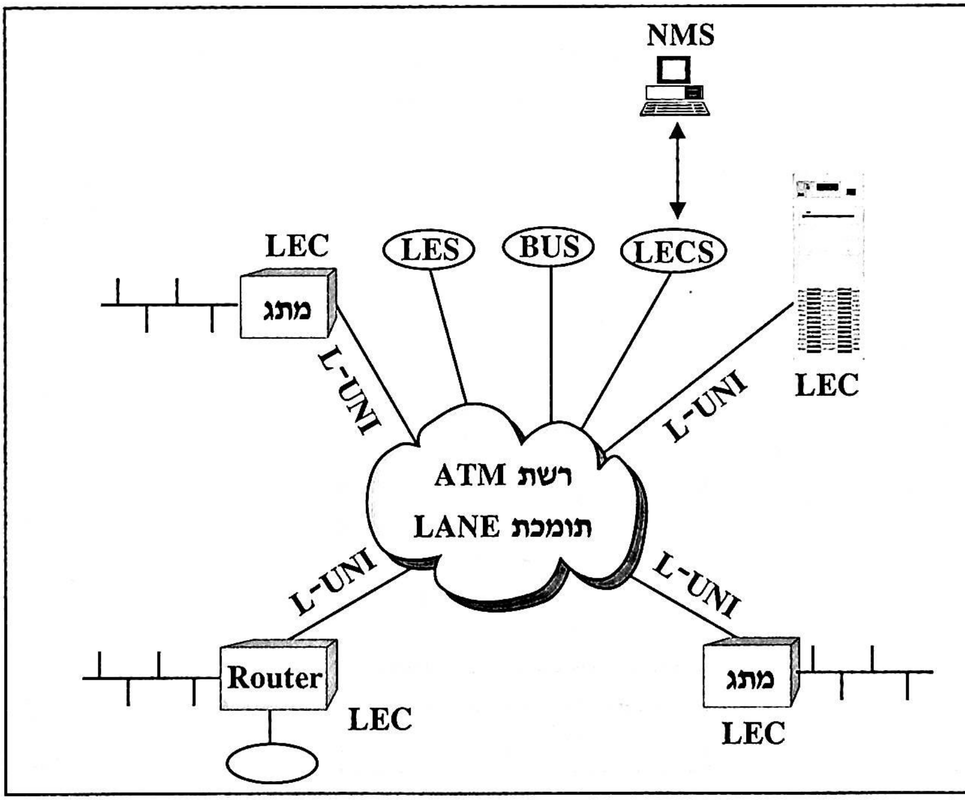
לשם כך הוגדר ממשק L-UNI (LANE UNI), שבעזרתו מתחבר ה-LAN לרשת ATM. תקן L-UNI הראשון אושר בשנת 1995 ע״י ATM Forum, והוא מאפשר לרשת ATM להידמות לרשת LAN. במילים אחרות, כל ציוד ויישומי LAN ממשיכים לעבוד כרגיל, תוך ניצול יתרונות ה-ATM. גם אם כרטיסי הרשת (NIC) יוחלפו בכרטיסי ATM, הפרוטוקולים והיישומים הקיימים ימשיכו לעבוד, וההשקעות לא תלכנה לאיבוד.

קיימים מספר הבדלים מהותיים בין צורת העבודה של LAN ו-ATM:

א. LAN עובד בשיטת Connectionless (CL), לעומת ATM העובד ב-Connection-Oriented (CO).

ב. שידורי Broadcast ו-Multicast (לקבוצת משתמשים, אך לא לכולם) מיושמים בקלות ב-LAN, ומשתמשים בהם לעתים קרובות. ברשתות ATM, לעומת זאת, כל הקשרים הם נל״ן. לכן שירות LANE חייב ליצור מנגנון של ״שכפול״ המסגרות ושידורן לכל אוכלוסיית ה-LANE.

ג. כתובת MAC של LAN היא בת 48 סיביות, ואינה תלוייה בטופולוגיה של הרשת. כתובת ATM היא בת 20 בתים. שרות LANE חייב לתמוך בתרגום כתובות בין הסביבות השונות.



ציור 18.14 - רשת ATM תומכת LANE

ציור 18.14 מתאר רשת ATM תומכת LANE. זוהי למעשה רשת ATM, המורכבת ממתג ATM אחד או יותר, אולם נוספו לה מספר מרכיבים:

- **LEC (LANE Client)** - ציוד קצה בעל ממשק ATM, המסוגל לתרגם כתובות מ-LAN ל-ATM (ולהיפך), ובעל ממשק תקני לפרוטוקול בשכבה גבוהה (למשל LLC). לכל LEC יש כתובת ATM ייחודית אחת, הקשורה בכתובת MAC אחת או יותר, שניתן להגיע אליהן באמצעות כתובת ATM הנ"ל. במקרה של מחשב ATM, יש קשר לכתובת MAC אחת. במקרה של מתג LAN - יש קשר להרבה כתובות MAC, המשוייכות לרשת ELAN (Emulated LAN) המסויימת. הממשק לרשת של ה-LEC הוא L-UNI.

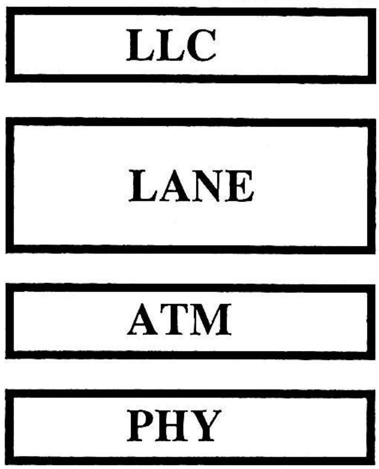
- **LES (LANE Server)** - מבצע את פונקציית הבקרה של ה-ELAN. יש רק אחד מסוגו ברשת, בעל כתובת ATM ייחודית. הוא אחראי לרישום ותרגום כתובות MAC לכתובות ATM.

- **BUS (Broadcast and Unknown Server)** - שרת שידור כולל. מבצע שידור כולל לכתובות יעד בלתי ידועות, ומפנה שידורי multicast ו-broadcast ללקוחות בתוך ELAN מסויים. כל LEC ברשת ELAN משוייך ל- BUS אחד, אבל ייתכנו מספר שרתי BUS בתוך ELAN. לכל BUS יש כתובת ATM אחת.

- **LECS (LANE Configuration Server)** - משייך לקוחות (LEC) לרשת ELAN ע"י הפנייתם לשרת LES השייך לאותו ELAN. שרת LECS אחד מסוגל לתמוך בכמה ELAN באזור מסויים.

ה-ATM Forum השאיר חופש פעולה ליישום המיקום הפיזי של השרתים הנ"ל. לדוגמה: שלושת השרתים יכולים להיות בנויים בתוך מתג ATM כיישום אחד, או לחילופין, הם יכולים להיות מבוזרים בתוך הרשת.

שרותי LANE פועלים בשכבה **השניה**, והם לחלוטין בלתי תלויים בפרוטוקולים העיליים (ראה ציור 18.15), ולכן יכולים לטפל בפרוטוקולים הניתנים לניתוב (DECNET, TCP/IP), אך גם בפרוטוקולים בלתי ניתנים לניתוב (Netbios, SNA, LAT).



ציור 18.15 - מבנה הפרוטוקולים של ELAN

איך פועל LANE

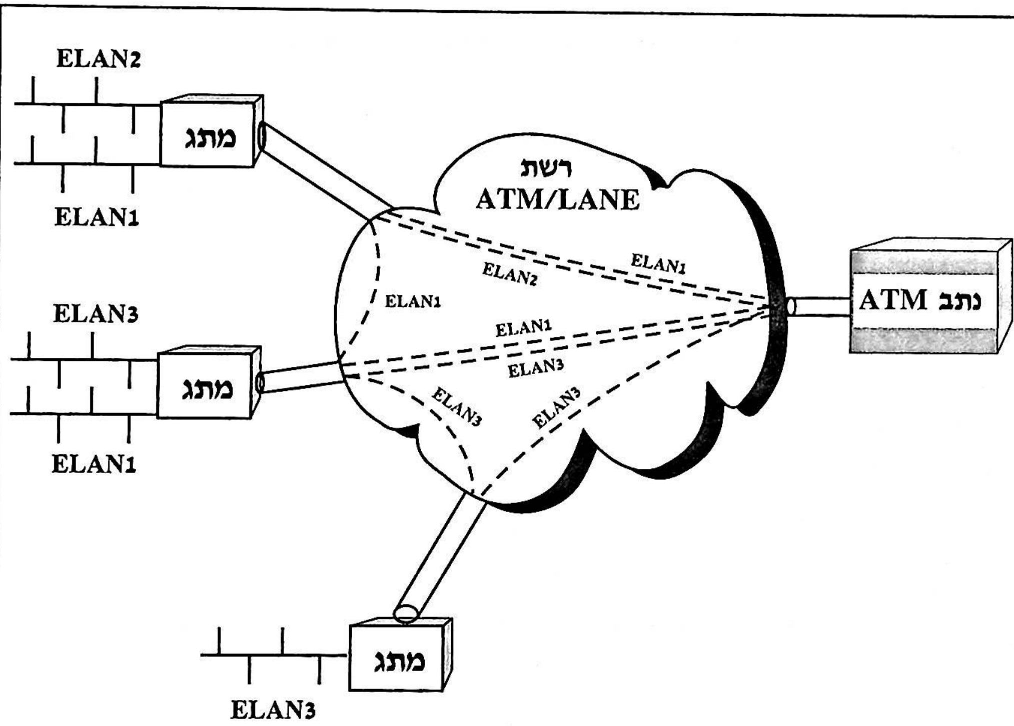
1. **אתחול** - LEC פונה ל-LECS ומחפש את כתובת ATM של LES, כדי להצטרף ל-ELAN. ה-LEC משתמש בהודעת ניהול מיוחדת (ILMI) המופנית למתג שלו כדי לנסות ולהשיג את הכתובת של LECS, או מתקשר ישירות ל-LECS תוך שימוש באפיק VPI=0, VCI=17 (המוקצה למטרה זאת). לאחר שמצא את המיקום של LECS, ה-LEC מתקשר אליו, ומקבל ממנו את כתובת ATM של LES, וכן פרמטרים נוספים (סוג ושם ה-ELAN, אורך מקסימלי של מסגרות המותרות ב-ELAN). ה-LEC מוסר ל-LECS את הפרטים שלו (כתובת ATM, כתובת MAC, סוג ה-LAN ואורך מקסימלי של מסגרות).

2. **הצטרפות** - ה-LEC מתקשר ל-LES ושולח בקשת הצטרפות (Join Request), הכוללת את כתובת ATM שלו, סוג ה-LAN, אורך מקסימלי של מסגרות וכו' (מידע זה נשלח ל-LES במידה וה-LEC לא הצליח ליצור קשר עם ה-LECS). ה-LES מאשר ההצטרפות ע"י שליחת Join Response (או אינו מאשר ההצטרפות, ואז ה-LEC צריך להתחיל מחדש), וכן נותן ל-LEC מספר זיהוי מיוחד הנקרא LECID.

3. **אתחול ה- BUS** - לאחר שנרשם ב-LES, ה-LEC מבקש מה-LES את כתובת ATM של BUS. ה-LEC מתקשר ל-BUS ונרשם אצלו בטבלת ה-Broadcast.

4. **העברת נתונים** - כאשר ה-LEC מקבל מנה מה-LAN, הוא בודק האם ידועה לו כתובת ATM של היעד והאם זוהי כתובת של שידור כולל. אם מדובר בשידור כולל, המנה נשלחת ל-BUS. אם לא, הרי שמדובר בשידור לתחנה בודדת (Unicast), ואז ה-LEC בודק אם ידועה לו כתובת ATM של היעד. אם ידועה - ה-LEC משתמש באתות UNI ליצירת קשר עם היעד. אם ה-LEC אינו יודע את כתובת ATM של היעד, הוא שולח מסגרת LE-ARP ל-LES. ה-LES מחזיר את כתובת ATM של היעד וה-LEC יוצר איתו קשר. אם ה-LES אינו מחזיר את הכתובת ה-LEC מפנה את המסגרות ל-BUS, המשדר אותן כ-Broadcast.

תקן LANE מתייחס לרשתות אטרנט וטאו"ס, אך לא ל-FDDI. רשת ELAN היא בעצם גם רשת VLAN, מאחר ושידורי ה-Broadcast שלה מוגבלים רק לתחנות המשתתפות ב-ELAN. בפרק הקודם ראינו שאחת המגבלות של רשתות VLAN היא חוסר התקינה. בעייה זו אינה קיימת ברשתות ELAN משום שהתקינה הושלמה ע"י ATM Forum. אפשר לבנות רשתות VLAN (ELAN) תקניות על תשתית ATM, ולחבר בין הרשתות ע"י נתב ATM, כמתואר בציור 18.16.

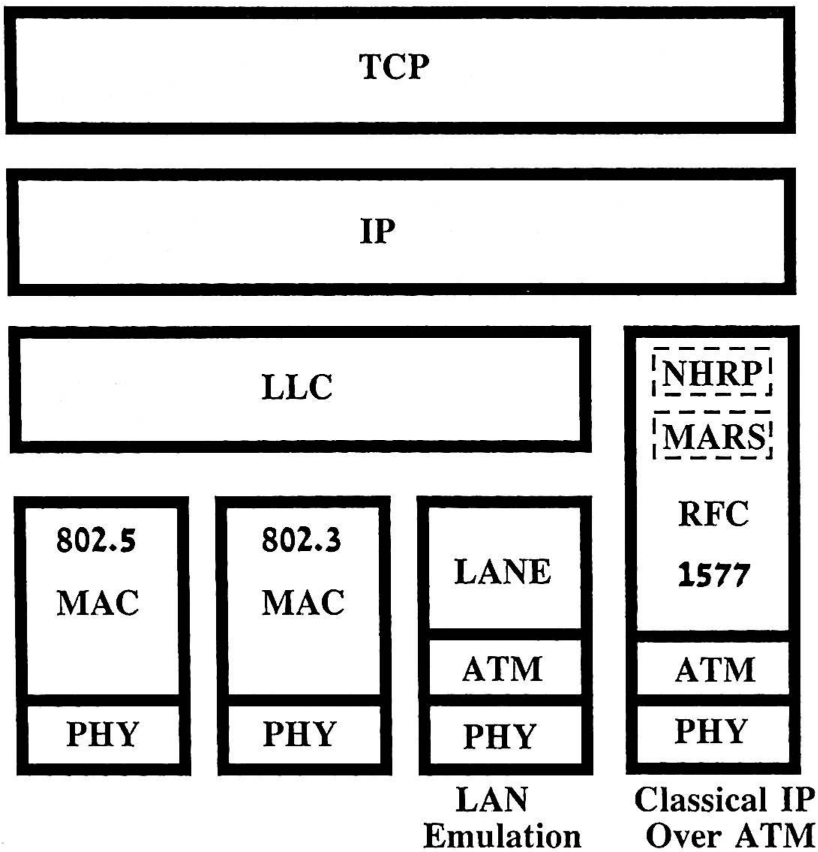


ציור 18.16 - שימוש בנתב ATM לחיבור בין ELAN

הנתב מחובר בממשק פיזי **אחד** לרשת ATM (תומכת LANE). בממשק זה מוגדרים מסי LEC, שכל-אחד מהם שייך ל-ELAN אחר. כל VLAN יכול להיות קבוצת IP אחרת, שכל חבריה מוגדרים כקבוצת ELAN, והחיבור ביניהם נעשה דרך הנתב.

8. IP מעל ATM

שיטת LANE של ה-ATM Forum איננה הדרך היחידה להעביר תנועה על תשתית ATM. ארגון IETF (ראה פרק ח' פיסקה 4.1) הגדיר שכבת MAC מיוחדת, המיועדת רק לעבודה עם פרוטוקול IP, הנקראת Classical IP Over ATM, והמתועדת ב-RFC 1577. ציור 18.17 מתאר את מבנה השכבות של RFC 1577 בהשוואה ל-LANE.

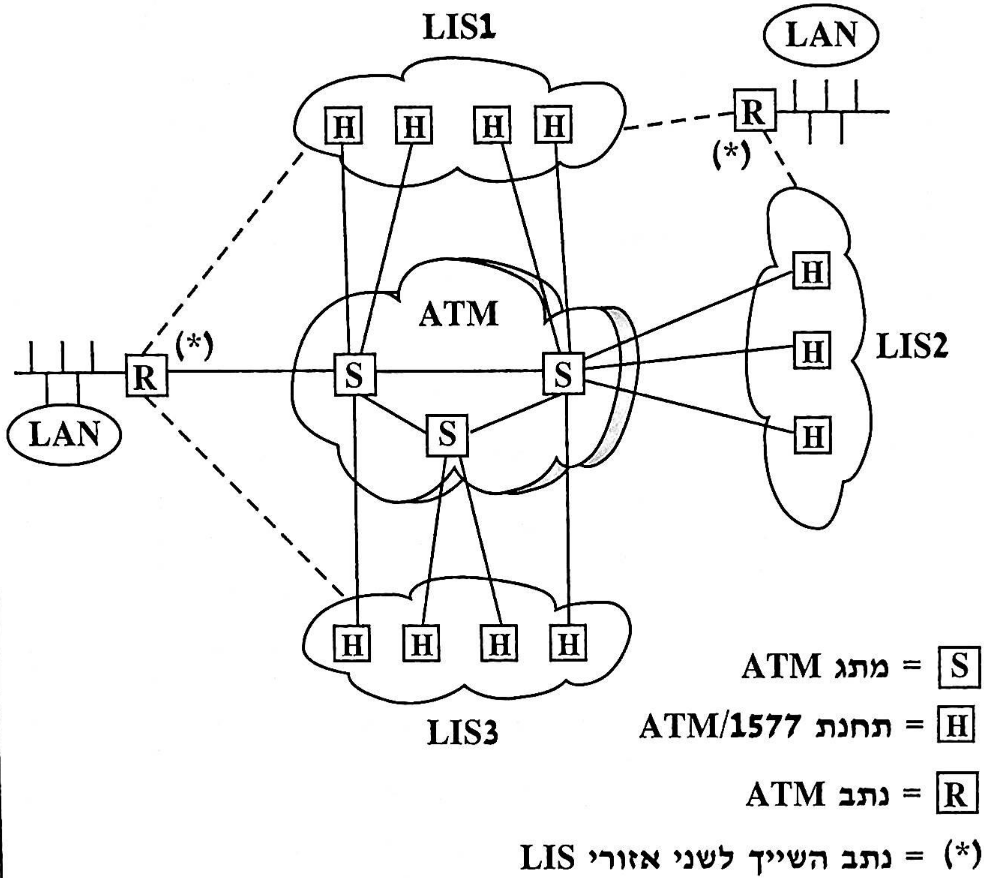


ציור 18.17 - מבנה השכבות של RFC 1577 ו-LANE

כפי שתואר בפיסקה הקודמת, LANE עובד עם כל הפרוטוקולים העיליים (הניתנים לניתוב וגם הבלתי ניתנים לניתוב) ו"מחביא" לחלוטין את ה-ATM מהשכבות הגבוהות. לכן, פרוטוקול עילי הרץ על ATM באמצעות LANE1.0 אינו יכול להנות מתכונות ה-QOS של ATM, ומשתמש בעיקר ב-UBR, או ABR. RFC 1577 לעומת זאת, תומך רק בפרוטוקול אחד (IP), ואינו מנסה ל"חקות" את כל שכבת MAC. בעבודה עם IP הוא יותר פשוט ויותר יעיל מאשר LANE, ויוצר תקורה יותר נמוכה. תקן RFC 1577 מאפשר עבודה עם מסגרות ארוכות (לדוגמה: יותר ארוכות מ-9000 בתים), דבר המוריד את תקורת התמסורת, ויעיל במיוחד בהעברת קבצים גדולים (כמו קבצי אינטרנט).

יתרון נוסף של RFC 1577 הוא אפשרות התמיכה ב-QOS (Quality of Service), מכיוון שהוא רץ ישירות על ATM ואינו חייב לדמות LAN. ב-RFC 1577 קיימת האפשרות למשתמשים, לדוגמה, להגדיר את ההשהייה המקסימלית של כל תא, או את הכמות המותרת של איבודי תא (Cell Loss). זה ייעשה ע"י פרוטוקול חדש RSVP (Resource Reservation Protocol) הנמצא כעת בפיתוח ע"י IETF. ה-LANE אינו תומך ב-QOS, בגירסה 1.0 (מתוכנן לתמוך ב-QOS בגירסה 2.0).

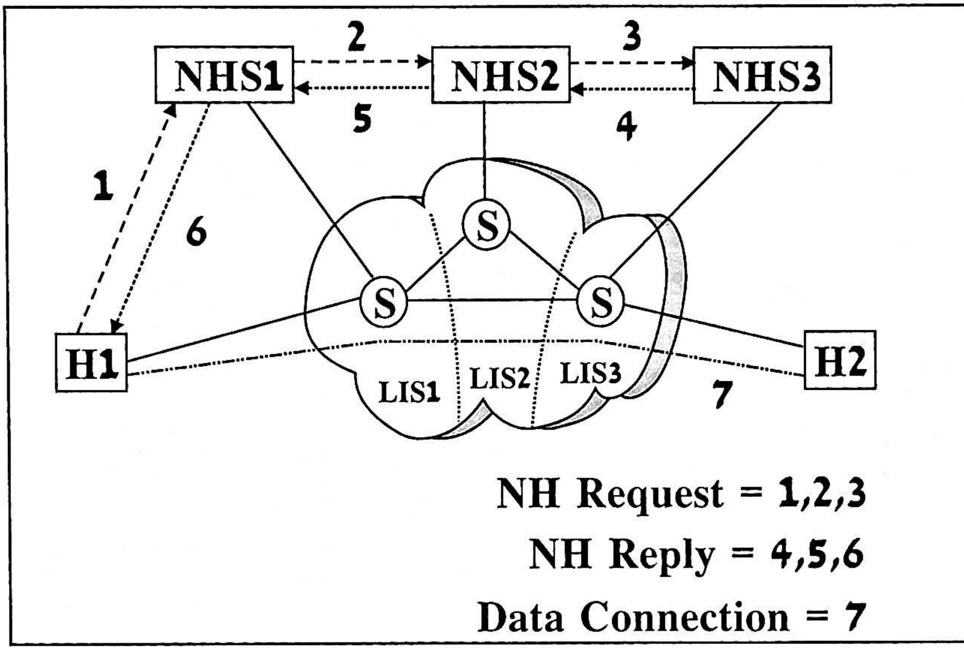
ציור 18.18 מתאר את ארכיטקטורת RFC 1577.



ציור 18.18 - ארכיטקטורת RFC 1577

תחנות ATM המריצות את פרוטוקול RFC 1577 (H בציור) מחולקות לתת-רשתות הנקראות LIS (Logical IP Subnet). כל המשתתפים ב-LIS מסויים שייכים לאותה תת-רשת IP. מנות IP מועברות ישירות ע"י מסלולי VCC, ללא "עטיפה" בשכבת MAC, בין תחנות השייכות לאותו LIS. תחנות השייכות ל-LIS שונים "מדברות" אך ורק דרך הנתב. משמעות הדבר שאם תחנה עוברת פיזית מ-LIS ל-LIS, כל תהליך העדכון מתבצע כמו ברשת IP רגילה (החלפת כתובת IP, שינוי ה-Default Router בתחנה, ושינוי ההגדרות בנתבים). רשתות LAN קלאסיות יכולות להימצא רק "מאחורי" נתב, והקישוריות ביניהן חייבת לעבור דרך הנתבים.

כדי להימנע מצואר-הבקבוק שיוצרים הנתבים, פותח פרוטוקול NHRP (Next Hop Resolution Protocol), כמתואר בציור 18.19. פרוטוקול NHRP מתאים לרשתות ממותגות בכלל, ולא רק ל-ATM.



ציור 18.19 - פעולת פרוטוקול NHRP

בכל אזור LIS קיים שרת NHS (Next Hop Server), המיושם בדרך-כלל ע"י נתב. תחנה H1 הרוצה ליצור מסלול מקוצר לתחנה H2, שולחת שאילתה (NH Request) לשרת NHS השייך לאזור שלה (מסי 1 בציור). אם ה-NHS יודע את התשובה - הוא מגיב ל-H1. אם אינו יודע - הוא מפנה שאילתה לשרת NHS הבא, בהתאם לטבלת הניתוב שלו (מסי 2 בציור). השאילתה מגיעה לבסוף לשרת NHS השייך לאזור LIS שבו נמצא H2, והשרת מגיב בתשובה (מסי 4 בציור). התשובה ממשיכה בחזרה, עד שהיא מגיעה ל-H1. H1 כעת בונה מסלול וירטואלי ישיר בינו לבין H2, שאינו חייב לעבור דרך הנתבים.

בציור 18.17 מתואר גם פרוטוקול MARS (Multicast Address Resolution Server) בצמוד ל-RFC 1577. זהו פרוטוקול המבצע Multicast, ומשלים בכך את פעולת IP מעל ATM (בדומה לתפקיד ה-BUS ב-LANE).

בשיטת NHRP תחנה יכולה לשנות את מיקומה הפיזי, ועדיין להשתייך לאותו LIS (דבר המפשט את האדמיניסטרציה). תחנה יכולה גם להשתייך לכמה LIS, ולגשת אל כל אחד מהם באמצעות אותו ממשק.

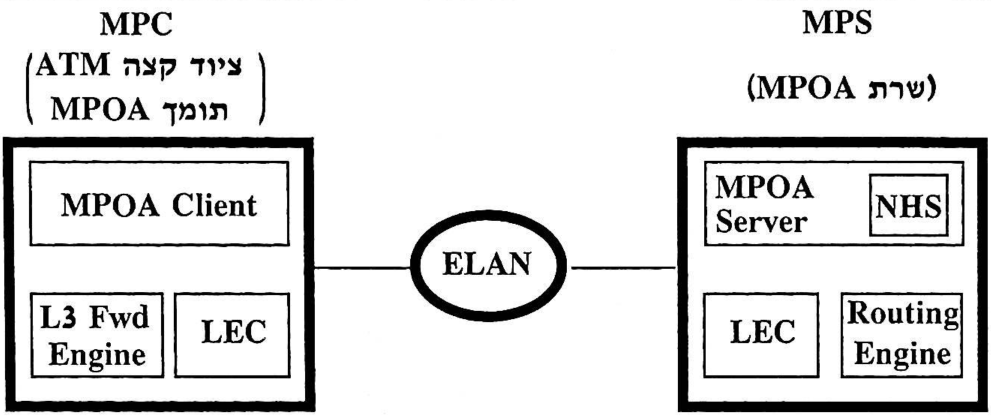
9. MPOA

תקן LANE הושלם ע"י ה-ATM Forum בשנת 1995, ופתר את בעיית גישור תנועת LAN על רשת ATM, ע"י יצירת שכבת ATM MAC. בינתיים, ה-IETF מצא דרך להפריד בין פונקציות הניתוב (Routing) וההעברה (Forwarding) של מנות IP, ע"י שימוש בפרוטוקולי NHRP ו-RFC 1577. ה-ATM Forum החליט להוסיף ל-LANE את היתרונות של פרוטוקול NHRP, ולאפשר ניתוב רב-פרוטוקולים על ATM (בניגוד לפרוטוקול IP הבודד של IETF).

בפרוטוקול MPOA (Multiprotocol Over ATM) מוגדרים שני מרכיבים (ראה ציור 18.20):

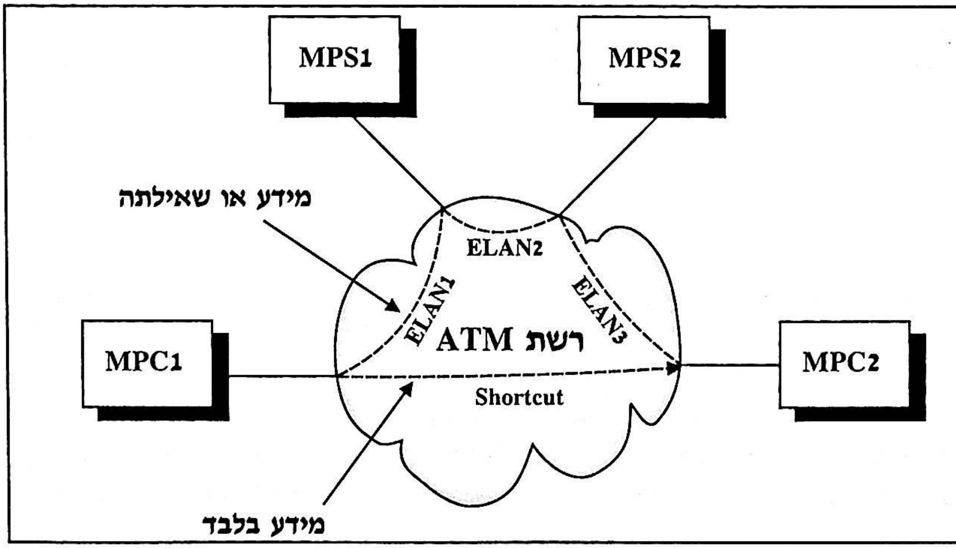
א. MPC (MPOA Client) - ציוד קצה ATM תומך MPOA, היכול להיות תחנה בודדת או רכזת LAN (מתג).

ב. MPS (MPOA Server) - שרת MPOA, המבצע תרגום כתובות לצורך ניתוב (נתב לדוגמה).



ציור 18.20 - מרכיבי MPOA

ה-MPC מסוגל לבצע פונקציות של העברה (Forwarding), אך לא פונקציות של ניתוב. כאשר ה-MPC מזהה תעבורה שכדאי לבצע עבורה "קיצור דרך" (כלומר, לעקוף את הנתבים), הוא מפעיל את פרוטוקול NHRP (שיטת הזיהוי אינה מוגדרת בתקן ופתוחה למימוש ע"י היצרן). זה נעשה ע"י שליחת שאילתה לשרת NHS הנמצא ב-MPS1 באותו ELAN (ראה ציור 18.21). ה-MPC יכול להכיל אחד (או כמה) LEC, והוא מסוגל להתקשר לאחד (או יותר) MPS.

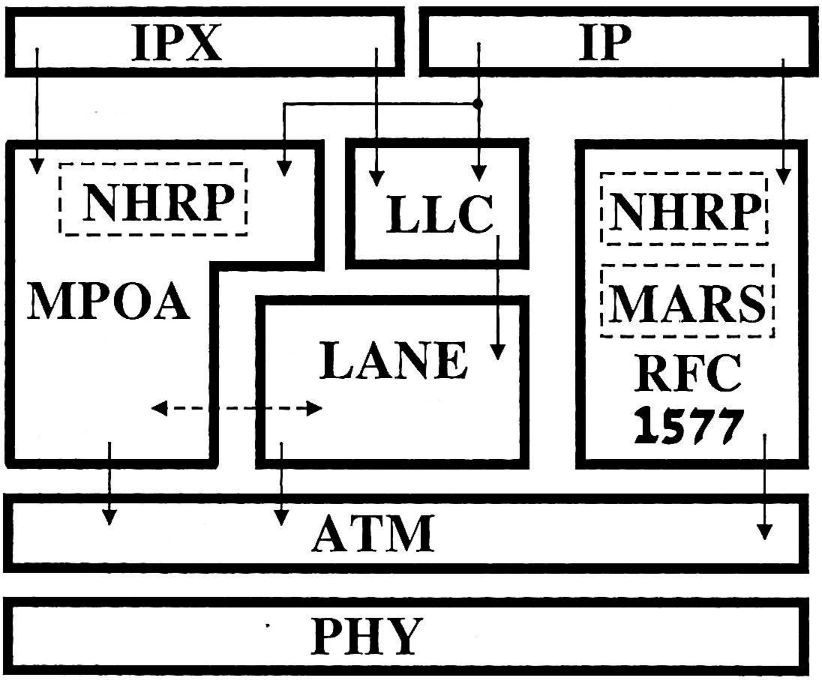


ציור 18.21 - יצירת מסלול מקוצר ברשת MPOA

MPC1 יכול להתקשר ל-MPC2 בשתי דרכים:

- באמצעות מסלול מידע העובר דרך שרתי MPS (המתפקדים כנתבים).
- באמצעות מסלול מידע מקוצר (Shortcut), הנוצר ע"י שאילתות בין ה-NHS השונים (הנמצאים בתוך MPS), כפי שתואר בפיסקה הקודמת. המסלול המקוצר עובר דרך מתגי ATM בלבד, ולא דרך MPS.

ציור 18.22 מסכם את שלושת השיטות להעברת פרוטוקולים עיליים (בייחוד IP ו-IPX) על רשת ATM.



ציור 18.22 - העברת IP/IPX על ATM

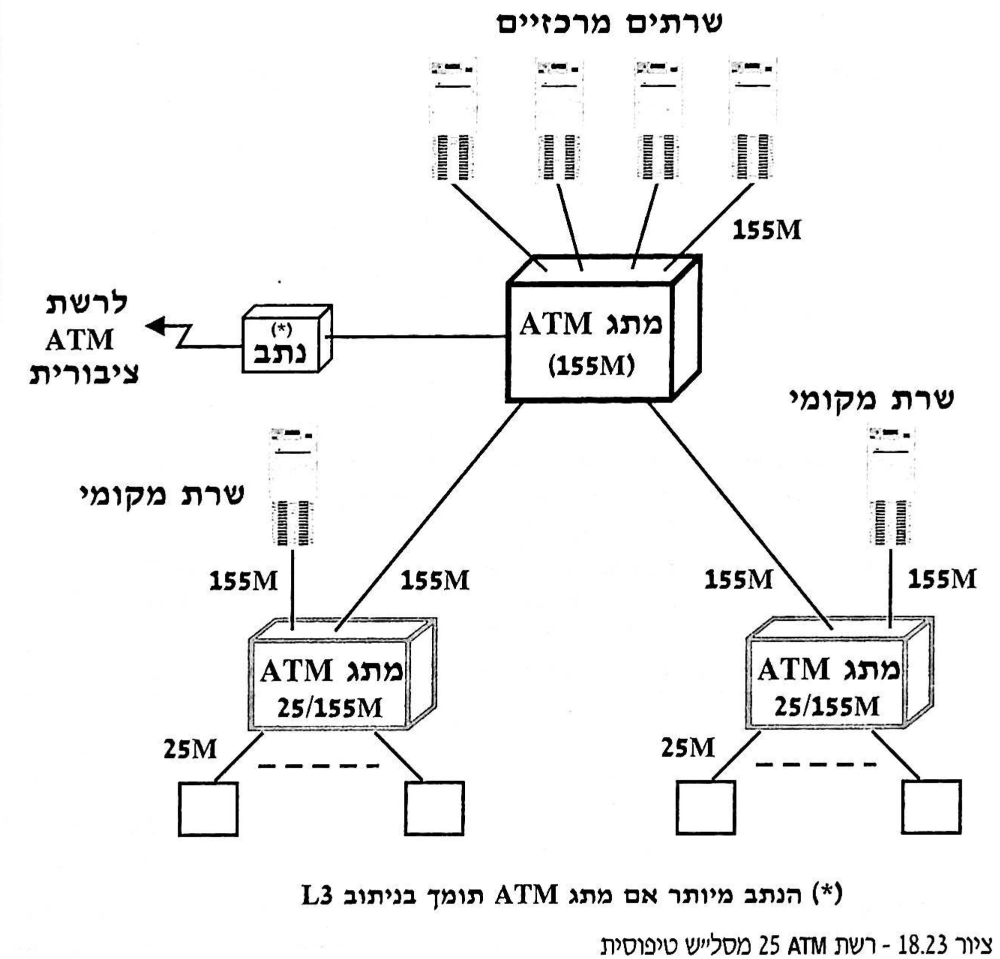
10. ATM בקצב 25 מסל"ש

בתחילת שנות ה-90, כאשר החלו לדבר לראשונה על יישומי ATM ברשתות מקומיות, הדעה המקובלת היתה שטכנולוגייה זו תתאים לתשתית הקמפוס, ופחות לציוד הקצה. ההנחה היתה ש-ATM יעבוד בקצבים של 155 מסל"ש ומעלה, שהם מעל ומעבר לצורך ולתקציב של משתמש קצה.

בשנת 1993 החלו כמה יצרנים להעלות את הרעיון של שימוש במתגים וכרטיסי ממשק ATM בעלי קצב נמוך (וכמובן מחיר נמוך), כך שיתאימו ליישומי קצה. לאחר התלבטות בין קצב של 25 או 51 מסל"ש ה-ATM Forum אישר בשנת 1995 תקן ל-ATM בקצב 25 מסל"ש (למען הדיוק 25.6 מסל"ש).

מספר יצרנים החלו לספק מוצרי ATM (מתגים וכרטיסים) בקצב 25 מסל"ש: יבמ, מאדג, FVC, ATML, ועוד. יתרונם הגדול של מוצרים אלה הוא מחירם הזול, שהפך אותם לתחרותיים מול טא"ס. יתרון נוסף הוא אפשרות העבודה עם כבלי UTP (קטגוריה 3), שהם מאוד נפוצים. כרטיסי 25 מסל"ש כוללים בדרך-כלל גם תוכנת LANE, כך שאפשר להריץ עליהם יישומים קיימים מעל ATM (ללא שינוי). בנוסף לכל היתרונות האלה הם תומכים ביישומי מולטימדיה (דבר שאינו נכון לאתרנט וטא"ס). חסרונם הוא הצורך להחליף את כל כרטיסי הרשת - משימה יקרה, יחסית, ועשוייה להשבית את הרשת בתקופת המעבר.

ציור 18.23 - מתאר רשת ATM 25 מסל"ש טיפוסית:



ציור 18.23 - רשת ATM 25 מסל"ש טיפוסית

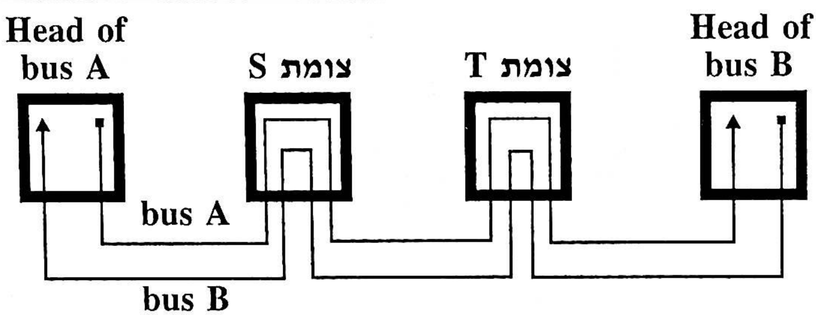
מתגי ATM 25/155M מוצעים היום ע"י מספר יצרנים. הם מאפשרים חיבור תחנות ATM 25 מסל"ש, וממשק אחד (או שניים) בקצב 155M. לממשק אחד ניתן לחבר שרת מקומי מהיר, והממשק השני יחובר למתג ATM 155M, המשמש כתשתית הרשת. למתג המרכזי יחוברו השרתים המרכזיים וכן נתב. הרשת בציור 18.23 יכולה לתמוך ב-VLAN, כך שהזזות ושינויים של משתמשים נעשים בצורה מאוד קלה ופשוטה.

MAN .11

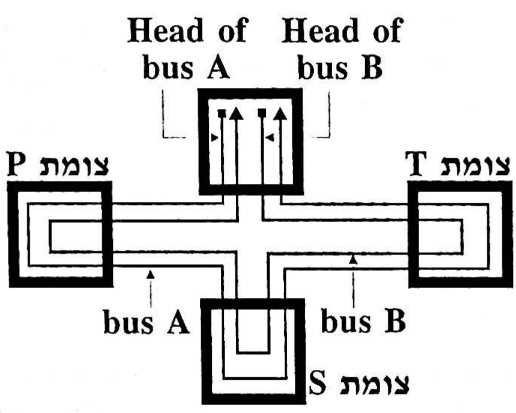
רשתות MAN (Metropolitan Area Network) שייכות למשפחת Cell Relay, מכיוון שאף הן עובדות עם תאים קצרים של 53 בתים. ייעוד רשתות MAN הוא לאפשר קישוריות בין רשתות מקומיות (LAN), מחשבים, מרכזות טלפון, וכו׳ באזור מטרופוליטני. לכן ה-MAN צריך לעבוד בקצב גבוה ולכסות אזור גיאוגרפי נרחב (לפחות בקוטר של 50 ק״מ).

רשת MAN מספקת שירות הנקרא SMDS (Switched Multi-megabit Data Service), והארכיטקטורה נקראת DQDB (Distributed Queue Dual Bus). הטיפול בתקינת רשתות אלה נעשה ע״י IEEE והתקן נקרא 802.6. גם ISO אימץ את התקן, והוא נקרא ISO 8802/6.

משמעות השם DQDB היא כי קיים Bus כפול, כלומר, שני ערוצי תקשורת נפרדים העוברים דרך כל הצמתים ברשת. הגישה לערוצים אלה נעשית ע״י ניהול תורים לכל ערוץ. ארכיטקטורת הערוצים יכולה להיות ״פתוחה״ או ״סגורה״, כמתואר בציור 18.24. רוב רשתות MAN עובדות בארכיטקטורה סגורה בגלל תכונות השרידות שלה.



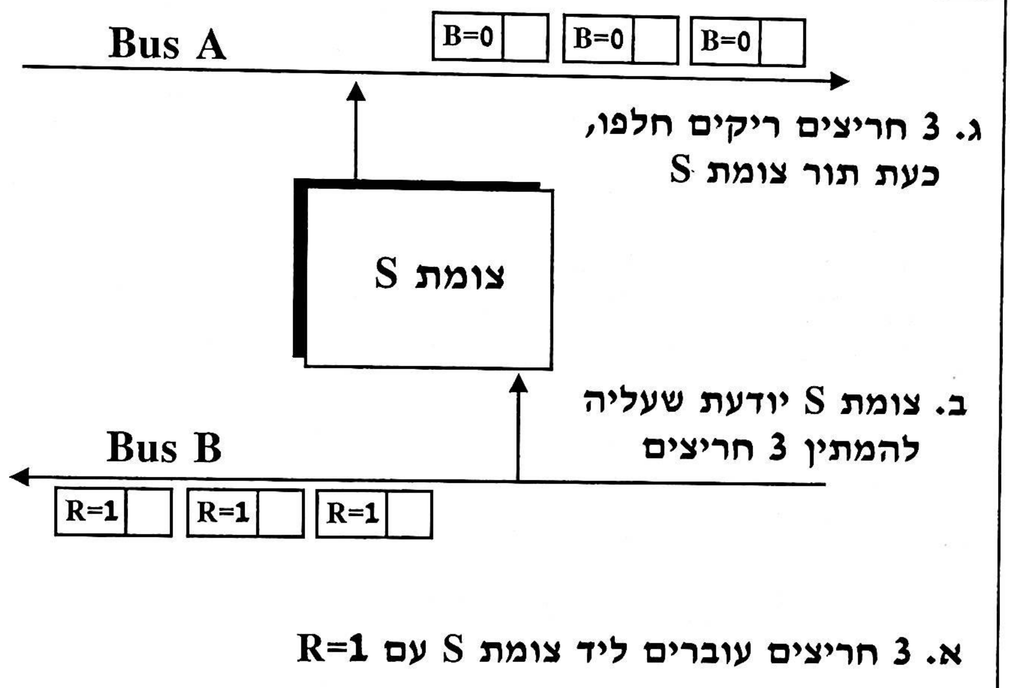
א. ארכיטקטורת DQDB פתוחה



ב. ארכיטקטורת DQDB סגורה

ציור 18.24 - ארכיטקטורת DQDB

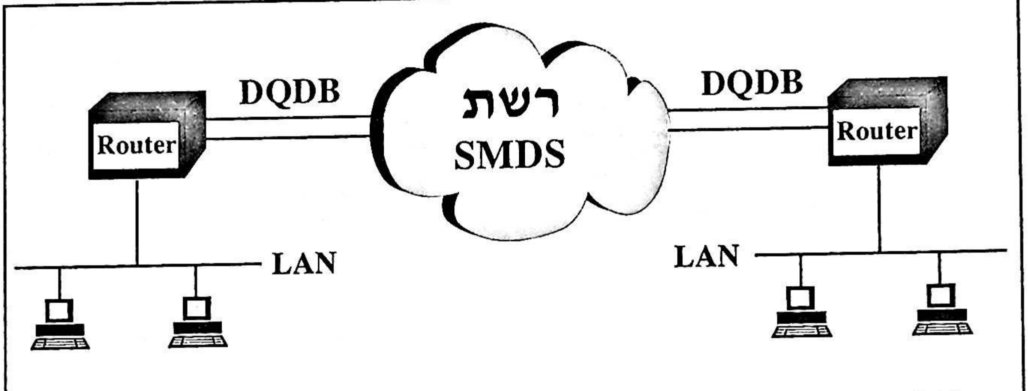
שני הערוצים פועלים באותו קצב, אך בכוונים מנוגדים. לכל ערוץ יש צומת התחלה (Headend), המנהלת את הערוץ ויוצרת חריצי-זמן (Time slots) בעלי אורך קבוע. הצמתים המחוברים במקביל לשני הערוצים, מכניסים נתונים לתוך חריצי הזמן בשיטת גישה DQDB. כל צומת יכולה לקרוא ולכתוב נתונים לתוך כל ערוץ. צומת S קוראת את כל חריצי הזמן שעוברים בערוץ B, והגיעו מצומת T. בכל חריץ כזה יש סיבית R (Reservation) המציינת שצומת מסויימת לפני S (למשל צומת T) הזמינה חריץ זמן. בציור 18.25 אנו רואים שצומת S מזהה 3 "הזמנות" בערוץ B, המאופיינות ע"י סיבית R=1. כעת, על צומת S להמתין ולתת ל-3 חריצים פנויים (B=0) שיחלפו בכיוון ימינה בערוץ A אל הצמתים שהזמינו אותם. אם צומת S הזמינה חריץ (ע"י סימון R=1 באחד החריצים הפנויים בערוץ B), היא תוכל להשתמש בחריץ הרביעי בערוץ A ולכתוב לתוכו מידע המופנה לצומת הנמצאת **ימינה**. אם צומת S רוצה לשלוח מידע לצומת אחרת הנמצאת **שמאלה** ממנה, היא צריכה לסמן R=1 בערוץ A, ולהמתין לחריץ פנוי בערוץ B.



ציור 18.25 - איך עובד DQDB

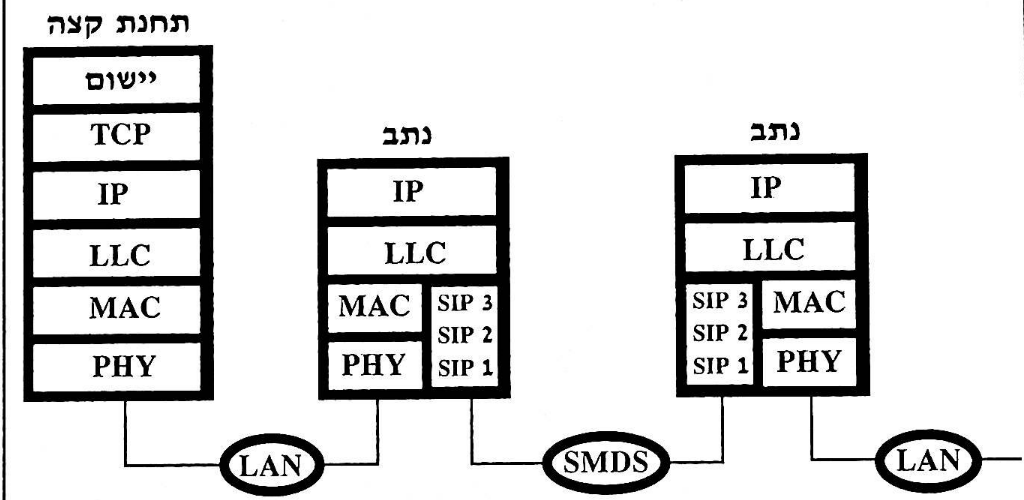
כל הפעולות שתוארו לעיל מנוהלות ע"י מונים הנמצאים בכל צומת, בכל כוון. החריצים הם באורך 53 בתים (בהתאמה ל-ATM), וכוללים בית אחד של כותרת ו-52 בתים של מידע. בית הכותרת מכיל את הסיביות R (Reservation) ו-B (Busy) שהוזכרו קודם, וכן שדות נוספים השייכים למנגנון הגישה.

ה-SMDS עובד בשיטת Connectionless בקצבים מהירים מ-2 עד 45 מסל"ש. הוא משמש בייחוד לחיבור רשתות LAN,בעזרת נתבים המכילים ממשק SMDS,הנקרא SIP (SMDS Interface Protocol). רשת SMDS טיפוסית מתוארת ציור 18.26, ובה אנו רואים שני נתבים מחוברים באמצעות הרשת.



ציור 18.26 - חיבור נתבים באמצעות SMDS

כל נתב מחובר מצד אחד לרשת LAN, ומצד שני לרשת SMDS. מבנה הפרוטוקולים מתואר בציור 18.27.



ציור 18.27 - מבנה הפרוטוקולים ברשת SMDS

פרוטוקול SIP מחולק למעשה ל-3 פרוטוקולים, ומעליהם נמצא פרוטוקול LLC. הנתב מחליף את פרוטוקול MAC בפרוטוקול SIP ושולח את המסגרת לרשת. הנתב הנגדי מבצע פעולה הפוכה, וכך שתי רשתות LAN מתקשרות בקצב גבוה.

רשתות SMDS מופעלות בארה"ב ובמספר מדינות באירופה, וגם בארץ "בזק" מפעילה שירות כזה. אולם הטכנולוגיה הצליחה רק בצורה מוגבלת, ייתכן בגלל מחירה הגבוה, או אולי בגלל שהפסידה במערכה מול ATM, בעל הטכנולוגיה והתכונות הטובות יותר.

12. סיכום פרק י"ח

בתחילת פרק זה ראינו את החסרונות של רשתות התקשורת הקיימות, שהביאו את ה-CCITT להכרזה על כוון חדש בפיתוח רשתות הטלקומוניקציה שנקרא BISDN. רשת BISDN אמורה להיות רשת גלובלית אחת, שתספק את כל מגוון השירותים של הרשתות הקיימות, וכן תספק שירותים עתידיים (שעדיין אינם מוגדרים). ה-BISDN מתבסס על שיטת העברה חדשה הנקראת ATM, ובה כל סוגי המידע מועברים ע"י תאים קצרים בעלי 53 בתים (48 בתי מידע ו-5 בתי כותרת). לכן השיטה נקראת גם "מיתוג תאים".

לטכנולוגיית ATM יש מספר יתרונות:

- האורך הקצר של התאים מבטיח השהייה מינימלית, לכן יש ל-ATM היכולת לטפל בתעבורת דיבור ווידאו, וכן בתעבורת נתונים בעלי קצבים שונים.
- האורך הקבוע של התאים מאפשר יכולת מיתוג בחומרה, שמשמעותו מהירות עבודה גבוהה.
- התאמה לרשתות טלקומוניקציה (כגון רשת "בזק") וכן לרשתות מקומיות (LAN).

ה-ATM פועל בצורת עבודה של Connection-Oriented, ע"י מסלולים וירטואליים היכולים להיות קבועים (PVC) או ממותגים (SVC). לצורך יצירת המסלולים הממותגים משתמשים במנגנון של איתותים בין המשתמש לרשת (UNI) ובין רשתות שונות (NNI). הקצאת רוחב-הסרט למשתמשים נעשית בצורה אסינכרונית בהתאם לצרכים.

ה-ATM שהוגדר לראשונה ע"י ה-ITU-T (CCITT) עבור רשתות ציבוריות, נקלט תחילה דווקא במגזר הפרטי, ונדחף ע"י ה-ATM Forum ליישומי ATM LAN. פרוטוקול מיוחד הנקרא LANE פותח ע"י ה-ATM Forum במטרה לשלב רשתות LAN עם רשתות ATM, ולאפשר ליישומים להמשיך לעבוד כרגיל. בהמשך פותח פרוטוקול מתוחכם יותר, MPOA, המאפשר ניתוב רב-פרוטוקולים מעל ATM. ארגון IETF פיתח במקביל את פרוטוקול RFC 1577 המאפשר עבודה של IP מעל ATM, ובהמשך פיתח את פרוטוקול NHRP המאפשר יצירת מסלול וירטואלי ישיר בין תחנות השייכות לרשתות IP שונות (ללא מעבר דרך נתבים). תקינת ATM ממשיכה ע"י ה-ATM Forum וכן ע"י ITU-T. מספר רב של רשתות ATM LAN כבר פועלות בעולם, וכן החלו בבניית רשתות ATM ציבוריות.

רשת MAN בארכיטקטורת SMDS, שפותחה באותה תקופה ע"י IEEE, לא הצליחה לצבור תנופה, ולמעשה הפסידה מול ה-ATM העדיף ממנה.

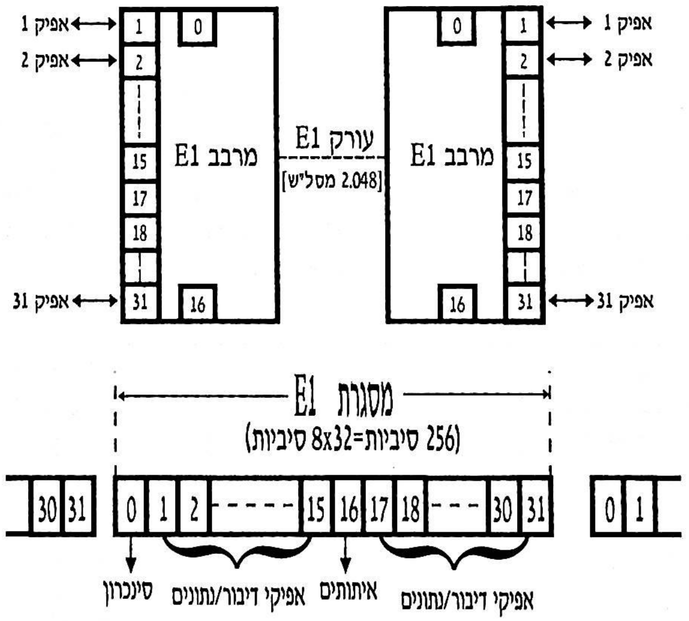
1. רשתות התמסורת כיום (PDH)

רשתות התמסורת כיום מבוססות ברמה הנמוכה על **PCM**, כלומר על אפיקים בקצב של 64 קסל"ש המרובבים ביחד בצורה סינכרונית (כפי שתואר בפרק ז' פיסקה 1). משמעות המושג "סינכרוני" היא כי כל האפיקים פועלים על פי אותו קצב שעון, ולכן סכום קצבי הכניסה שווה לקצב המוצא. ב-**PCM** אירופאי (המקובל גם בארצנו) קיימת מסגרת בסיסית בת 32 חריצי זמן החוזרת על עצמה 8000 פעמים בשניה, ולכן אורכה הוא **125us**. בכל חריץ זמן משולבת דגימה של דיבור (או נתונים) בעלת 8 סיביות. כמות הסיביות הכללית המשודרת בשניה אחת היא:

2,048,000 סיביות לשניה = 8,000 מסגרות לשניה **x 32** חריצים למסגרת **x 8** סיביות לחריץ

כל חריץ זמן הוא שווה ערך ל-**64,000 סיביות לשנייה** (**8000 x 8=** סיביות)

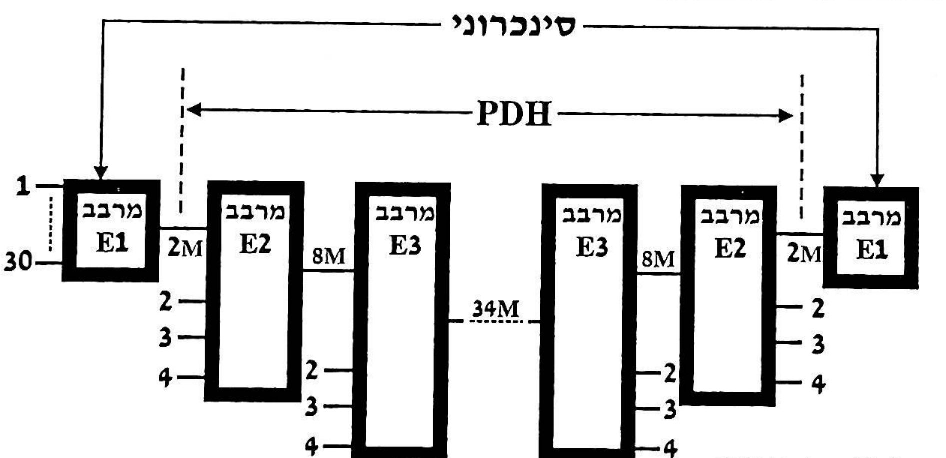
ציור 19.1 מתאר מסגרת **PCM** בסיסית בתקן אירופאי.



ציור 19.1 - מסגרת PCM בתקן אירופאי (E1)

המשתמשים מקבלים רק 30 אפיקים, כיוון שאפיק "0" משמש לסינכרון ואפיק "16" משמש להעברת האיתותים של כל יתר האפיקים.

ברמה הראשונה (הנקראת גם E1) כל האפיקים הם **סינכרוניים**. לא כן הדבר ברמות הגבוהות יותר. הרמה השניה (E2) פועלת בקצב של 8448 קסל"ש ובה מרובבים 4 עורקי E1. סכום הכניסות הוא 8192 קסל"ש (= 4 x 2,048) והוא נמוך מקצב E2. הסיבה היא שכל אחד מארבעת עורקי E1 מסונכרן עם בן-זוגו (הנמצא בקצה הרחוק), אך לא עם שכניו במרבב E2. לכן במרבב E2 מוסיפים סיביות סרק (Stuffing Bits) כדי לאפשר שידור משותף של ארבעת עורקי E1, ופיצולם בכל נקודה רצויה ברשת. תהליך דומה מתרחש גם במרבבים הגבוהים יותר (E3, E4 וכו'), והוא נקרא באופן כללי ריבוב PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), או ריבוב אסינכרוני, כמתואר בציור 19.2.



ציור 19.2 - ריבוב PDH

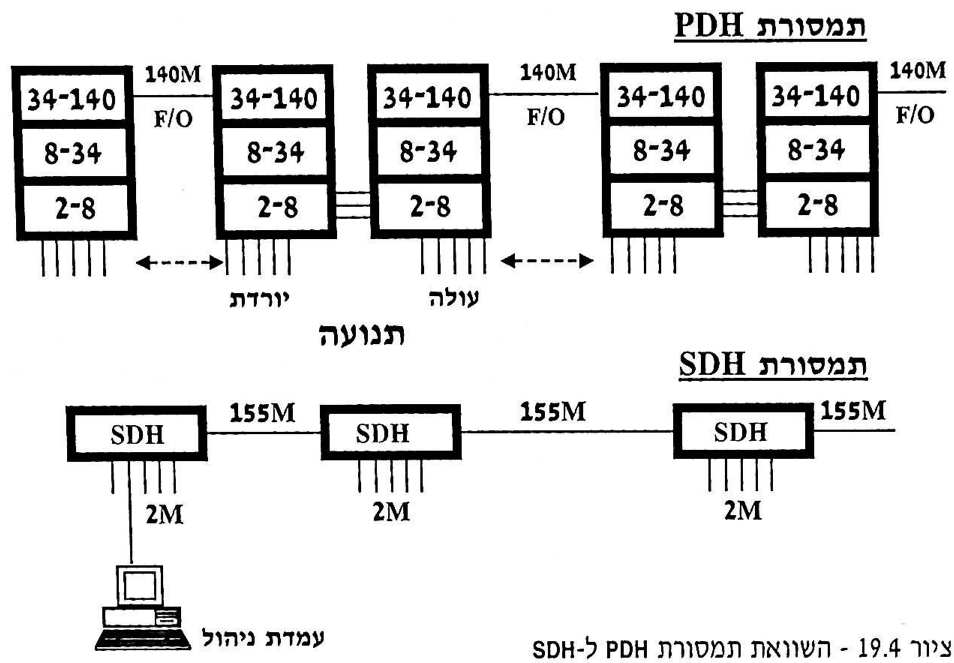
ציור 19.3 מתאר את שלושת תקני הריבוב המקובלים כיום. השכבה התחתונה היא תמיד סינכרונית והשכבות הגבוהות הן PDH.

דרגת ריבוב	אירופה	ארה"ב	יפן
1	2.048	1.544	1.544
2	8.448	6.312	6.312
3	34.368	44.736	32.064
4	139.264		97.728

(כל המספרים במסל"ש)

ציור 19.3 - תקני ריבוב PDH

החסרון הבולט בשיטת PDH הוא שאי אפשר לחלץ אפיקי 64 קסל"ש בצורה ישירה מהרמות הגבוהות, אלא אם כן יורדים בצורה הדרגתית מ-E4 (140 מסל"ש) ל-E3 (34 מסל"ש), ל-E2 (2 מסל"ש) ורק אז ניתן לבצע זאת. פרוש הדבר שבכל צומת תקשורת יש צורך להתקין כמויות גדולות של מרבבים לכל כוון שידור, ופעולת ה-Cross Connect יכולה להתבצע רק ברמה הנמוכה (ראה ציור 19.4).



ציור 19.4 - השוואת תמסורת PDH ל-SDH

בשיטה הסינכרונית שתתואר להלן, **כל רמות התקשורת הן סינכרוניות** ולכן אפשר לבצע Cross Connect ולחלץ אפיקי 64 קסל"ש גם ישירות מהרמות הגבוהות.

2. התפתחות השיטה הסינכרונית

השיטה הסינכרונית הוצעה לראשונה בארה"ב בשנת 1985 ע"י Bellcore ונקראה SONET (Synchronous Optical Network). השיטה הפכה לתקן אמריקאי (ANSI T1.105, ANSI T1.106) ואח"כ הובאה ל-CCITT, שתרגם אותה לתקנים משלו (G .707, G .708, G .709). יש לציין כי שתי משפחות התקנים (SONET האמריקאית ו-SDH של CCITT) תואמות בחלקן, אך לא במלואן.

קצב SONET הבסיסי נקרא STS-1 והוא 51.840 מסל"ש. קצבי SONET האחרים הם כפולות מדויקות של מספר זה (בניגוד לקצבי PDH שאינם כפולות מדויקות). קצב SDH הבסיסי הוא 155.520 מסל"ש והוא נקרא STM-1. קצב זה שווה לקצב של STS-3 האמריקאי, כמתואר בטבלה הבאה:

SDH	קצב (מסל"ש)	SONET
	51.840	STS-1
STM-1	155.520	STS-3
	466.560	STS-9
STM-4	622.080	STS-12
	933.120	STS-18
	1244.160	STS-24
	1866.240	STS-36
STM-16	2488.320	STS-48
STM-64	9953.280	STS-193

בתקני **SONET** מוגדרים כיום 9 קצבים ואילו בתקני **SDH** רק 4 קצבים. בקצבים הזהים (לדוגמה 155.520) יוכלו **SONET** ו-**SDH** לתקשר ברמת הסיב, אך לא בהכרח ברמת התוכן. שים-לב שהאות האופטי נקרא **OC** (**OC-1, OC-3** וכו') והאות החשמלי המקביל נקרא **STS-1**, **STS-3** וכו'.

3. יתרונות השיטה הסינכרונית

בפיתוח השיטה הסינכרונית הושקעה (ועדיין מושקעת) מחשבה רבה וכן בא לידי ביטוי כל הנסיון המעשי שנצבר ברשתות **PDH**.

יתרונות הרשתות הסינכרוניות הם רבים ומגוונים:

א. ממשקים תקניים המבטיחים יכולת קישור גלובלית בין רשתות שונות. הדבר אינו אפשרי כיום עקב תקני **PDH** שונים הקיימים בארה"ב ובאירופה. ממשקים תקניים מאפשרים גם אספקת ציוד תואם ע"י יצרנים שונים.

ב. גישה נוחה לאפיקים שונים והפשטת תוכנית הריבוב. אין צורך בפירמידה של מרבבים בכל צומת (כפי שראינו בציור 19.4), והעלויות של הציוד תהינה נמוכות יותר.

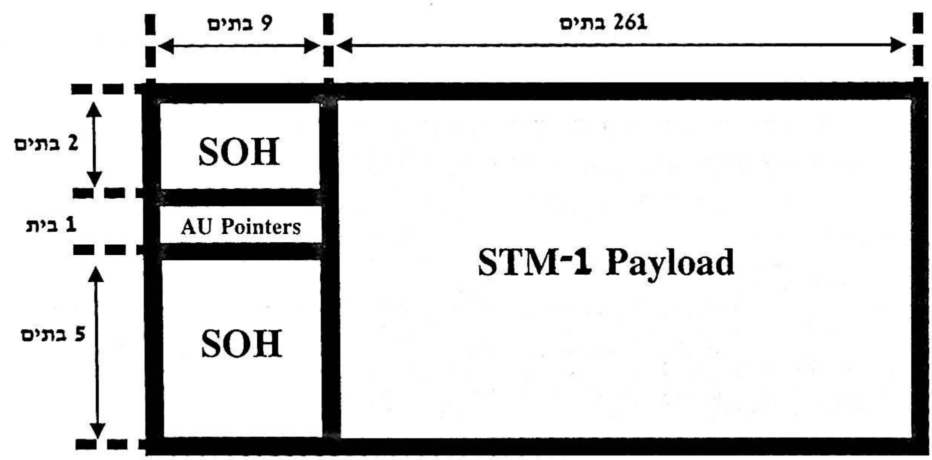
ג. אספקת שירותים רחבי-סרט: קצבי התמסורת הגבוהים (2 מסל"ש ומעלה) מאפשרים עמידה בדרישות לשירותים רחבי-סרט. הקצבים הסינכרוניים מאפשרים גידול גם מעבר ל-10 גסל"ש (**STM-64**) בעתיד.

ד. גמישות: מבנה המסגרות הוא גמיש ומאפשר טיפול בקצבים הנהוגים כיום (1.5, 2, 6, 34 מסל"ש) וכן בקצבים עתידיים ובלתי ידועים מראש.

ה. תחזוקה ותפעול: המסגרות השונות של SDH כבר כוללות רוחב-סרט המוקצה לפונקציות של תחזוקה, שליטה, בקרת ביצועים וניהול אדמיניסטרטיבי. זה מאפשר לתת למשתמשים בקרה על רשתות פרטיות, שרותים מתוזמנים (Time Of Day) וכן זמינות ואיכות ברמה גבוהה.

4. עקרון השיטה הסינכרונית

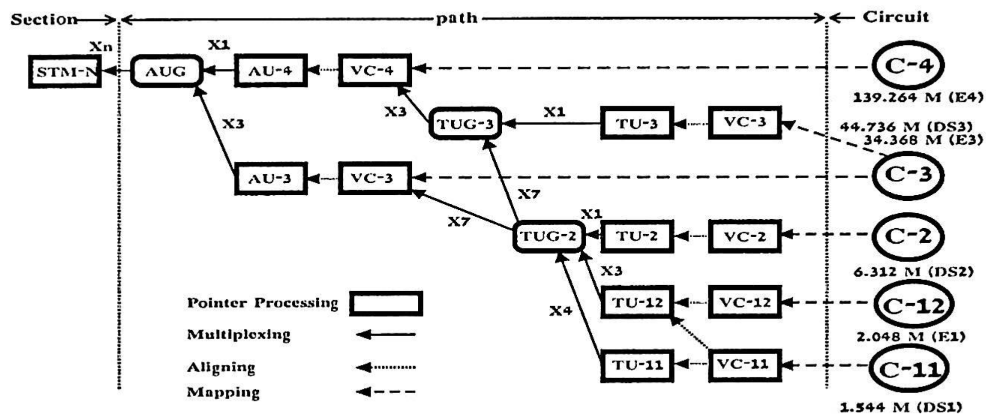
שיטת SDH מבוססת על ריבוב סיפרתי סינכרוני, שבה כל אחת מרמות הריבוב היא כפולה שלמה של רמה בסיסית. הרמה הבסיסית ב-SDH נקראת STM-1 והיא מייצגת קצב של 155.52 מסל״ש. המסגרת של STM-1 היא מלבנית, בעלת 270 בתים לאורך ו-9 בתים לרוחב (ראה ציור 19.5), וחוזרת על עצמה 8000 פעמים בשניה.



הקצב: 270 עמודות x 9 שורות x 8 סיביות x 8000 מסגרות לשנייה=155.520 מסל״ש

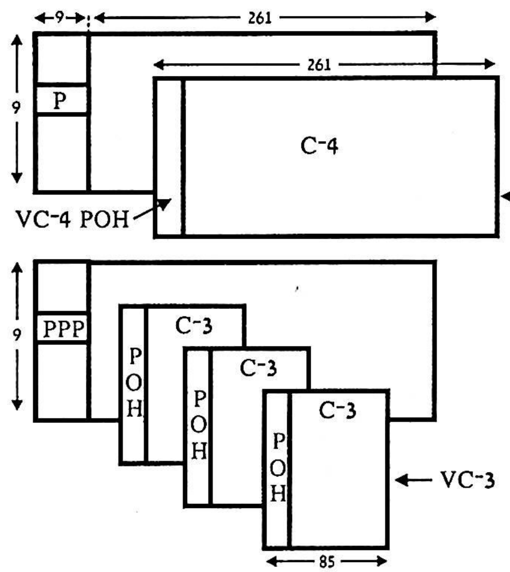
ציור 19.5 - מבנה מסגרת STM-1

פרוש הדבר שכל משבצת במסגרת מייצגת אפיק של 64,000 סל״ש (בדומה למשבצת ב-PCM, כמתואר בציור 19.1). במסגרת יש, לכן, 2430 משבצות (‎270 x 9=‎) וקצב השידור הוא 155,520 קסל״ש (‎2430 x64=‎). תשע העמודות השמאליות משמשות כתקורה ו-261 העמודות הנותרות משמשות להעברת מידע. לצורך העברת המידע מגדירים ״מיכלים״ דמיוניים (VC=Virtual Container), שכל אחד מהם מכיל מידע ממקור אחד או כמה ״מיכלים״ קטנים יותר.



ציור 19.6 - כללי ריבוב SDH

ציור 19.6 מגדיר את כללי הריבוב, או "אריזת" המיכלים בתוך מסגרת STM-1. אות E4 בקצב של 140 מסל"ש מסודר בפורמט הנקרא C-4 ונארז במיכל דמיוני VC-4 (במידות 260x9=2340 בתים). קצב התמסורת של מיכל זה הוא 2340x64=149,760 קסל"ש, והוא מכיל את E4 וכן תקורה מתאימה. בנוסף לכך קיימת תקורת POH (בעמודה העשירית משמאל) המתיחסת למסלול שאותו המיכל אמור לעבור (ראה ציור 19.7)



ציור 19.7 - "אריזות" בתוך מסגרת STM-1

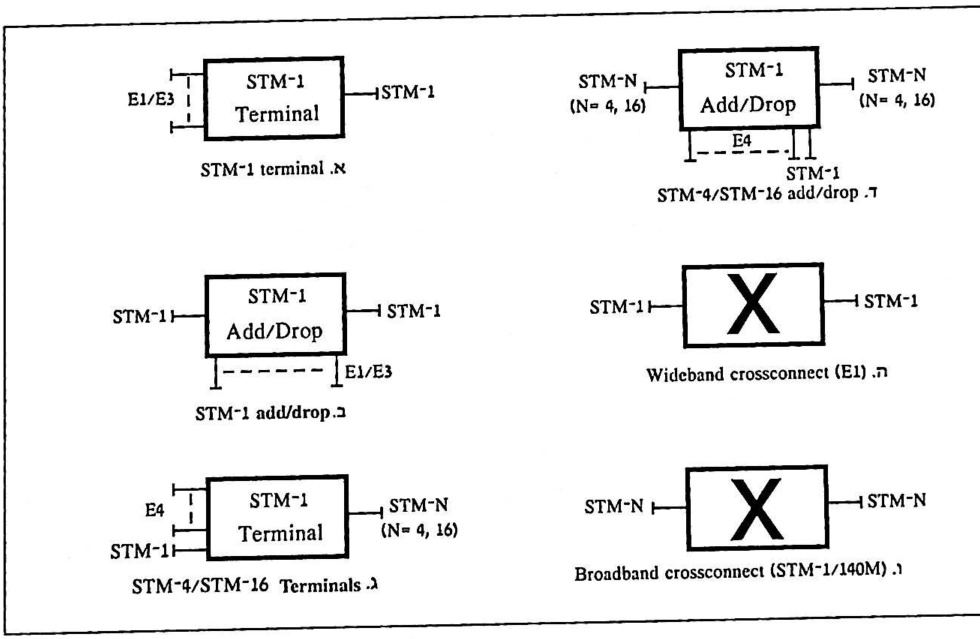
ציור 19.7 מגדיר צורות אחרות של "אריזת " מיכלים קטנים יותר, כדוגמת VC-3. VC-3 הוא מיכל במידות 85x9=765 בתים, שווה ערך ל-48,960 קסל"ש. לכן מיכל זה יכול לקבל גם E3 (34 מסל"ש) וגם T3 (45 מסל"ש): שלושה מיכלי VC-3 יכולים להיכנס למיכל VC-4 כמתואר בציור 19.7. מיכל VC-3 יכול להכיל 21 אותות של E1 (2 מסל"ש), או 28 אותות של T1 (1.5 מסל"ש) כמתואר בציור 19.6. אות E1 מסודר

בפורמט הנקראת C-12 (הספרה "1" מציינת את הרמה הראשונה והספרה "2" מתייחסת ל-2 מסל"ש). האות נארז במיכל הנקרא VC-12, ושלושה מיכלים מסוג VC-12 נאספים לקבוצה הנקראת TUG-2. שבע קבוצות כאלה נארזות במיכל VC-3, ו-3 מיכלי VC-3 נארזים בתוך מיכל VC-4 (סה"כ 63 אותות E1 נארזים בתוך STM-1).

כפי שניתן לראות, אפשרויות האריזה הן רבות ומגוונות. מבנה ה-SDH הוא גמיש ומאפשר טיפול ברוחבי-סרט עתידיים, ע"י התאמתם לאריזות השונות, או הגדרת אריזות חדשות. המבנה הסינכרוני גם מאפשר מעבר לכפולות גבוהות יותר, תוך שמירה על מבנה האריזות הקיימות.

5. ציוד SDH

נסקור להלן ציוד אופייני לרשתות SDH (ראה ציור 19.8).



ציור 19.8 - ציוד SDH אופייני

א. **STM-1 Terminal** (נקרא גם **Terminal MUX**): מרבב מספר אפיקי **G.703** ל-**STM-1**. לדוגמה, 63 אותות **E1** או 3 אותות של **E3**, או קומבינציה שלהם.

ב. **Add-Drop Multiplexer (ADM)**: מקבל אות **STM-1** שמגיע ממערב (כך נהוג לכנות זאת), מוסיף או משמיט אותות **E3/E1** (או אותות אחרים המוגדרים בתקן **G.703**), ומרכיב אות **STM-1** חדש לכוון מזרח.

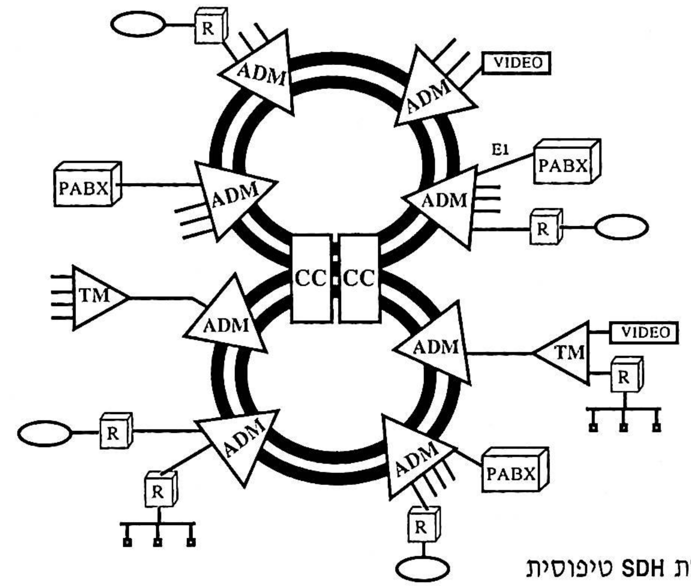
ג. **STM-N Terminal**: מרבב כניסות של **140 Mbps (E4)** ו-**STM-1** ליציאה אחת בקצב **STM-4** או **STM-16**.

ד . STM-N ADM: מקבל אות STM-4 או STM-16 מכוון מערב, משמיט/מוסיף אותות של E4 או STM-1, ובונה אות STM-4/STM-16 חדש לכוון מזרח.

ה . Wideband Crossconnect: מקבל אות STM-1 מכוון מערב, "אורז" מחדש את האותות במיכלי VC, ומשדר אות STM-1, לכוון מזרת.

ו . Broadband Crossconnect: מקבל אות STM-N מכוון מערב (כאשר N = 4 ,16) "אורז" מחדש אותות E4 או STM-1, ומשדר אות STM-N חדש לכוון מזרח.

לסכום, ציור 19.9 מתאר רשת SDH טיפוסית שבה מותקנים הציודים שתוארו לעיל.



ציור 19.9 - רשת SDH טיפוסית

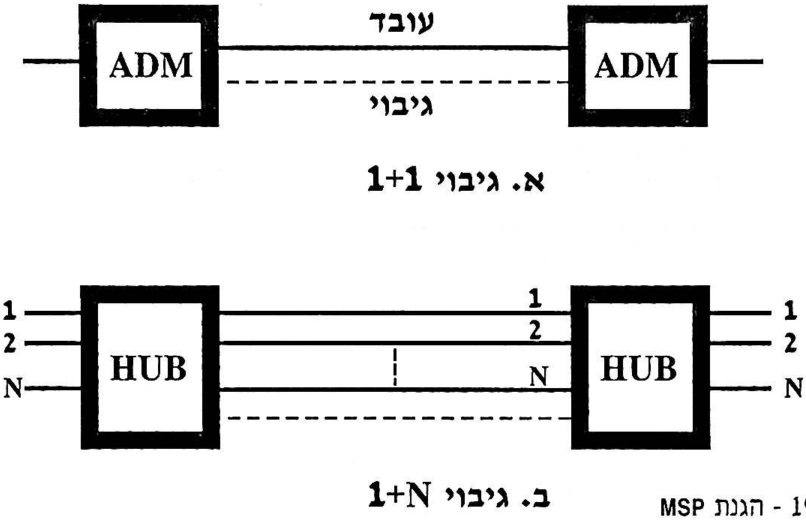
6. שרידות רשת SDH

אחת התכונות החשובות של רשתות SDH היא השרידות שלהן, כלומר, יכולתן לעמוד בפני תקלות ונזקים שונים. רשת SDH בסיסית בנויה משתי טבעות העובדות בכוונים שונים ומבצעות גיבוי אוטומטי, תכונה הנקראת SHR (Self Healing Ring).

נסקור להלן מספר שיטות הגנה לרשתות SDH:

<u>(Multiplex Section Protection) MSP</u>

המושג Multiplex Section מתייחס לקטע שבין שתי מרבבים (לדוגמה ADM), ולפעמים הוא גם נקרא Line.

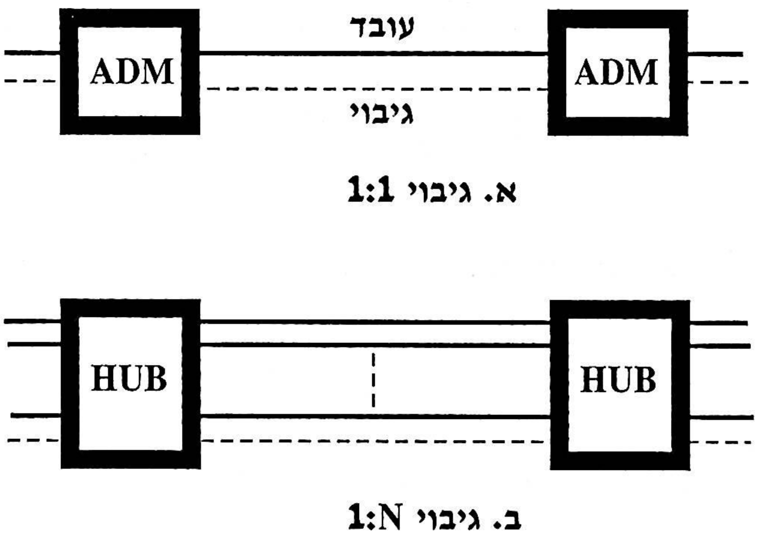


ציור 19.10 - הגנת MSP

בין המרבבים מותקן סיב, שבדרך-כלל אינו פעיל. כאשר יש תקלה בסיב העובד, נכנס מיד סיב הגיבוי לפעולה (גיבוי 1+1). בגיבוי 1+N הפעולה דומה, אולם סיב אחד משמש לגיבוי N סיבים פעילים. שיטת MSP עובדת בין זוגות מרבבים, אולם אפשר לחזור עליה לאורך כל הטבעת. היא נותנת הגנה בפני תקלות בסיבים, אך לא בציוד הריבוב. השיטה מתוארת בתקני ITU: G.782, G.783 .

Path Protection

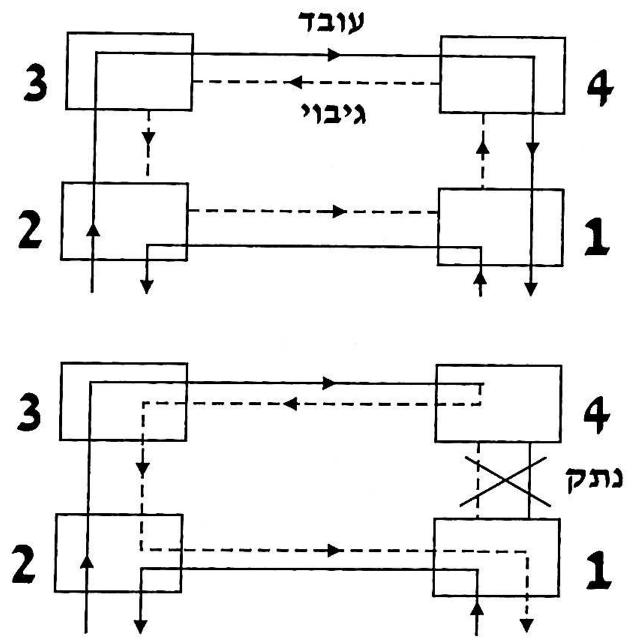
המושג Path מתייחס למסלול מקצה לקצה. כפי שנראה בציור 19.11, ההגנה יכולה להיות 1:1 או 1:N.



ציור 19.11 - הגנת Path Protection

MS-USHR

זוהי שיטת הגנה לטבעת. במצב רגיל השידורים של כל התחנות מבוצעים **באותו הכוון**, ולכן השיטה נקראת **Unidirectional SHR**.

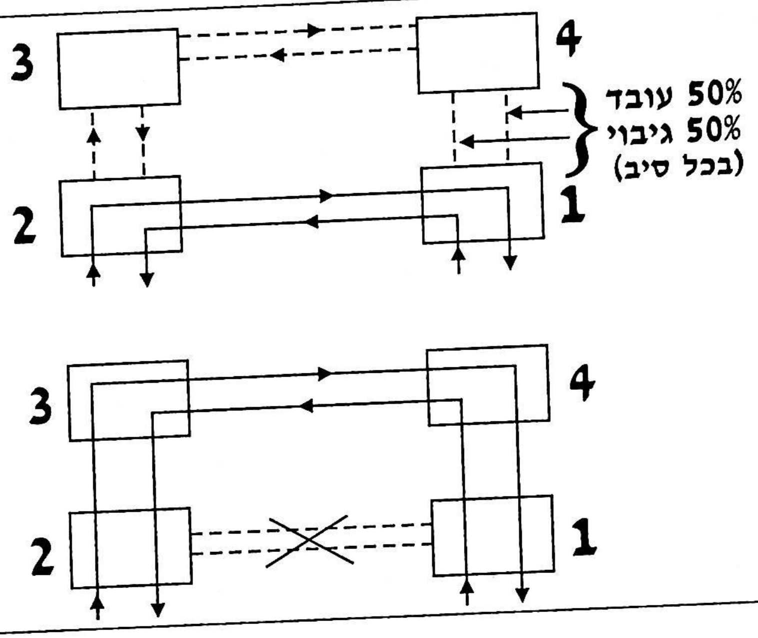


ציור 19.12 - גיבוי MS-USHR

תחנה 1 משדרת לתחנה 2 בסיב הישיר שביניהן. אולם תחנה 2 משדרת לתחנה 1 במסלול 2-3-4-1, כלומר, באותו הכוון שבו שידרה תחנה 1 לתחנה 2 (כוון השעון). בצורה כזו בונים את מסלולי התעבורה בין כל הצמתים, כאשר התנועה מצטברת בכוון השעון על הסיב העובד. במקרה של תקלה (כדוגמת נתק בסיבים שבין תחנות 1 ו-4), תחנה 1 מגלה איבוד קליטה ושולחת אות **Alarm** בכוון הסיב העובד. האות הזה מגיע לתחנה 4, המבצעת מיתוג בין הסיבים, וכך נסגרת הטבעת מחדש בעזרת סיב הגיבוי. שיטת גיבוי זו מוזכרת בתקן **G.803**.

MS-BSHR

שיטת הגנה לטבעת, שבה במצב רגיל השידורים בין זוג תחנות סמוכות מבוצעים **בכוונים הפוכים**, ולכן נקראת **Bidirectional SHR**.



ציור 19.13 - גיבוי MS-BSHR

בין כל זוג צמתים יש גיבוי של 100%, או במילים אחרות, מחצית מהתעבורה בכל כוון היא תעבורה מבצעית, והיתר תעבורת גיבוי. במקרה של נפילה בין זוג צמתים, התעבורה שלהם תעבור על הרזרבה שנשמרה לצורך כך לאורך כל המסלול. גם שיטת גיבוי זאת מוזכרת בתקן **G.803**.

7. סיבום פרק י"ט

רשת SDH משמשת כתשתית אופטית מהירה לרשתות BISDN ו-ATM הבנויות מעליה. ה-SDH נמצא בשכבה הראשונה (התחתונה) של מודל ה-OSI, והוא בנוי מסיבים אופטיים המרכיבים טבעות, או טופולוגיה ליניארית.

ה-SDH עובד בצורה סינכרונית, כאשר כל קצב שידור הוא כפולה מדוייקת של קצב בסיסי מסויים. בשיטה האירופאית (SDH) הקצב הבסיסי הוא 155.520 מסל"ש, ואילו בשיטה האמריקאית (SONET) הקצב הבסיסי הוא 51.840 מסל"ש.

תמסורת SDH מחליפה כיום את תמסורת PDH הישנה, ובכך מוקנים לרשת מספר יתרונות חשובים:

- אמינות וזמינות גבוהים עקב תכונות השרידות של SDH.
- יכולת עליה לקצבים גבוהים.

- יכולת ריבוב רבת-עוצמה, המסוגלת "לחלץ" כל אפיק מערוץ התמסורת, ללא הצורך לבנות פירמידה של מרבבים. משמעות הדבר חסכון כספי גדול בציוד, חשמל, התקנות, כבלים וכו'.

- גמישות תפעולית.

- יכולת ניהול ותחזוקה מובנית, המאפשרת שליטה ובקרה מרחוק על כל מרכיבי הרשת.

פרק ב' - רשת האינטרנט

1. ההיסטוריה של האינטרנט

אי אפשר לסיים ספר על תקשורת מבלי להזכיר את האינטרנט, אותה רשת שפרצה לכותרות בבת-אחת, וכל אחד מאיתנו משתמש בה כיום בצורה אינטנסיבית במקום עבודתו, בביתו ואף בעת שהותו בחו"ל.

בבת-אחת אמרנו? לא מדוייק. בשנת 1969 הוקמה בארה"ב רשת **ARPANET** ע"י משרד ההגנה האמריקאי, שחיברה תחילה 4 אוניברסיטאות. המטרה היתה להקים רשת של מחשבים, בעלת שרידות גבוהה, שתוכל לעמוד בפני פגיעה אפשרית בקווי התקשורת, ותקשר את כל מוסדות המחקר, הפיתוח והייצור הצבאיים. חב' **BBN**, שהיתה הקבלנית הראשית של הפרוייקט, פיתחה אז את פרוטוקול מיתוג המנות, שקישר בין מאות מחשבים מסוגים שונים.

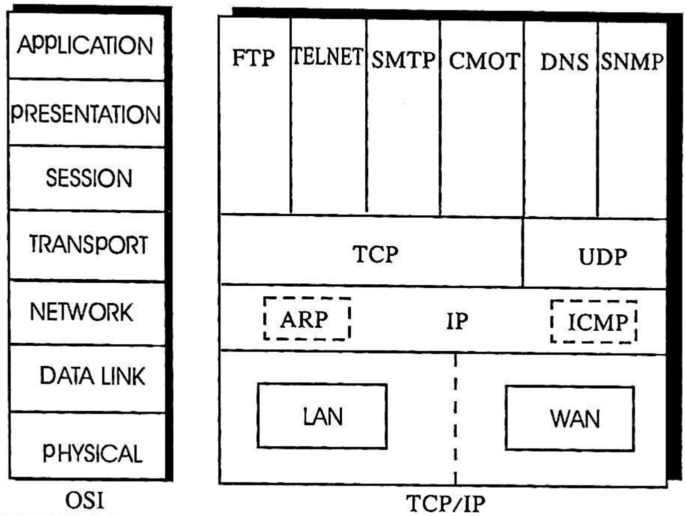
רשת **ARPANET** גדלה בהתמדה, והתפתחו ממנה מספר רשתות נוספות (כגון: **MILNET**, שהיא כיום רשת צבאית בלבד). ריבוי פלטפורמות החומרה ומערכות ההפעלה ברשת הביא למחקר על מערכות פרוטוקולים באמצע שנות ה-70. התוצאה היתה פיתוח פרוטוקולי **TCP/IP**, שהפכו בשנת 1983 לפרוטוקולים תקניים ברשת. כל מי שהיה קשור עם הממשל האמריקאי באמצעות **ARPANET**, היה חייב להשתמש ב-**TCP/IP**. כך החל העניין המסחרי בפרוטוקולים אלה.

ARPANET פורקה ב-1990 והוחלפה ב-**DRI (Defense Research Internet)**, או בקיצור אינטרנט, המבוססת על קווי **T1** בקצב 1.5 מסל"ש. החלק הצבאי הופרד ממנה (**MILNET**) והרשת נפתחה בפני הקהל הרחב. האינטרנט היום הוא אוסף ענק של רשתות מחשבים, הכולל רשתות אוניברסיטאות, רשתות ציבוריות ורשתות פרטיות, שהמכנה המשותף שלהן הוא השימוש בפרוטוקולי **TCP/IP**.

לאינטרנט אין מנהל, ואין גוף שאחראי על ביצועי הרשת. בשנת 1989 הוקם ה-**IETF** (ראה פרק ח' פיסקה 4.1) שתפקידו לכתוב מפרטים על ארכיטקטורת הרשת, הפרוטוקולים והיישומים השונים שמופעלים על הרשת. ה-**IETF** מפרסם המלצות, הידועות בכינוי **RFC**, שהן למעשה תקנים דה-פקטו.

2. ארכיטקטורת TCP/IP

את ארכיטקטורת TCP/IP הכרנו כבר בפרק ט' פיסקה 6, ולמען הנוחיות נחזור עליה כאן:



ציור 20.1 - ארכיטקטורת TCP/IP

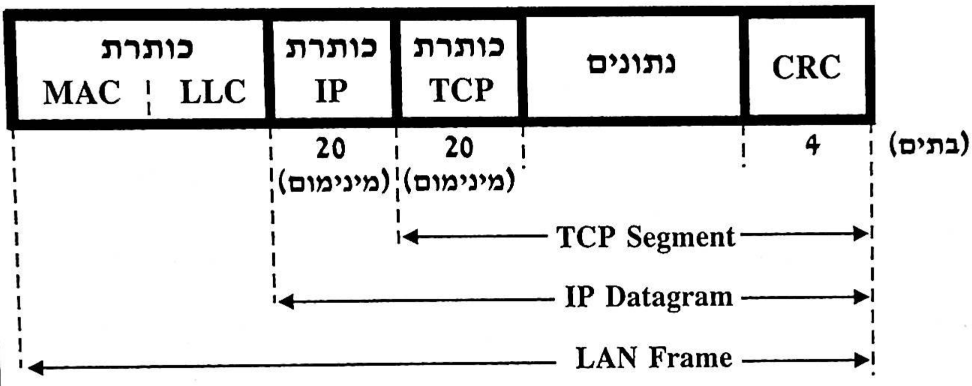
הפרוטוקול העיקרי בשכבה השלישית (שכבת הרשת) הוא IP (Internet Protocol) - פרוטוקול ניתוב מסוג **Connectionless**, המטפל בהעברת מנות ברשת בשיטת **Datagram**. פרוטוקול זה נמצא על תחנת המקור, וכן על כל נתב ברשת, ותפקידו לנתב את המנה לאורך כל המסלול עד תחנת היעד. כבר ראינו בפרק ט"ז כי כותרת המנה מכילה (בין היתר) את כתובות הרשת (כתובות IP) של תחנות המקור והיעד. הנתבים קוראים כתובות אלה (ראה ציור 16.3) ועל סמך נתונים אלה מבצעים את החלטות הניתוב.

פרוטוקולים נוספים בשכבה השלישית הם ARP (Address Resolution Protocol) ו - ICMP (Internet Control Message Protocol). פרוטוקול ARP משמש לזיהוי כתובת פיזית של תחנה כאשר ידועה כתובת IP שלה, וראינו את פעולתו בציורים 16.17 ו-16.18. פרוטוקול ICMP משמש לתקשורת פנימית בין התחנות, לצורך דיאגנוסטיקה, הודעות על צפיפות ברשת (Congestion), דיווח על צומת שאי אפשר להגיע אליה, ועוד. הודעת ICMP מכילה את כותרת IP הרגילה, כותרת מיוחדת של ICMP (4 בתים) ושדה נתונים.

אחת מהודעות ICMP הנפוצות היא Ping, או Echo Request. הודעה זו נשלחת כדי לבדוק אם תחנת היעד ניתנת להשגה, וכן כדי למדוד את זמן התגובה מהתחנה. הודעת ICMP אחרת היא Unreachable Destination, שאותה שולח נתב כשאינו מסוגל לשדר הלאה מנה מסויימת.

כל מנה (או Datagram) היא ישות עצמאית, שאינה קשורה לכל מנה אחרת ברשת. המנות יכולות לנוע במסלולים שונים ברשת, ולהגיע לתחנת היעד שלא לפי הסדר המקורי שבו שודרו. יתירה מכך, פרוטוקול

IP אינו מבטיח שכל מנה אכן תגיע ליעדה, ולכן הוא נחשב לשירות לא-אמין. אם רוצים לקבל שירות אמין, יש להשתמש בפרוטוקול TCP, הנמצא מעל IP. משמעות המושג "מעל" מתוארת בציור 20.2:



ציור 20.2 - כותרות TCP/IP

פרוטוקול הנמצא "מעל" (כגון TCP) ממוקם עמוק יותר בתוך המסגרת, והוא "עטוף" בפרוטוקול הנמוך ממנו (IP). כותרת IP מכילה לפחות 20 בתים, והיא כוללת את כתובות הרשת (כתובות IP) של המקור והיעד. כל כתובת כזאת היא באורך 32 סיביות (4 בתים), כפי שיפורט בסעיף הבא.

בשכבה הרביעית (מעל IP) יש שני פרוטוקולים עיקריים:

- TCP (Transmission Control Protocol) - פרוטוקול מסוג Connection-Oriented, המבטיח העברה אמינה של נתונים מקצה לקצה, במחיר של תקורה גבוהה.
- UDP (User Datagram Protocol) - פרוטוקול מסוג CL שאינו מבטיח העברה אמינה של נתונים, אך הוא בעל תקורה נמוכה.

פרוטוקול TCP מספק קשר אמין מקצה-לקצה. כותרת TCP מכילה גם היא לפחות 20 בתים, והיא כוללת את השדות הבאים:

א. מבוא יישום המקור (Source Port) - 16 סיביות, המגדירות את היישום במקור.

ב. מבוא יישום היעד (Destination Port) - 16 סיביות, המגדירות את היישום ביעד.

ג. מספר סידורי המבטיח את סדר ההגעה הנכון של הנתונים (32 סיביות).

ד. מספר אישור - 32 סיביות.

ה. בדיקת שגיאות - 16 סיביות, לכותרות של IP ו-TCP.

בנוסף כוללת הכותרת מספר שדות נוספים.

להלן דוגמאות של מבואות יישום מקובלים:

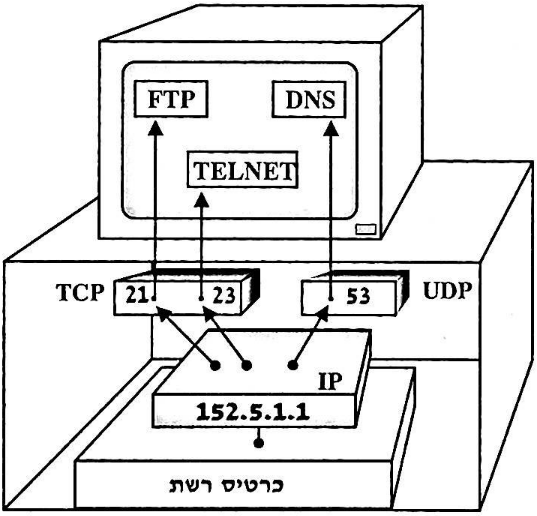
מבוא **21** - **FTP** (פרוטוקול העברת קבצים, מופעל מעל **TCP**)

מבוא **23** - **TELNET** (חיבור למחשב מרוחק, מופעל מעל **TCP**)

מבוא **25** - **SMTP** (פרוטוקול דואר אלקטרוני, מופעל מעל **TCP**)

מבוא **53** - **DNS** (שרת תרגום לכתובות **IP**, לפי כתובות לוגיות, מופעל מעל **UDP**)

הצירוף של כתובת **IP** בתוספת מבוא היישום מגדיר בצורה מדוייקת את הפרוטוקול העילי, ונקרא **Socket**. לדוגמה: **152.5.1.1(23) # Socket** - גישה ליישום **Telnet** בכתובת **IP** הנתונה. ציור 20.3 מתאר 3 יישומים המופעלים במחשב מסויים מאותה כתובת **IP**: **FTP** ו-**TELNET** עובדים מעל **TCP**, ו-**DNS** עובד מעל **UDP**. הציור מדגים את יכולת ה"ריבוב" של **TCP/IP**, כלומר, האפשרות להפעיל מספר יישומים בו-זמנית מאותה כתובת **IP**.



ציור 20.3 - SOCKETS

בחלק מהיישומים לא נדרשת אמינות תקשורת גבוהה, ואפשר להשתמש בפרוטוקול **UDP**, בעל היעילות הגבוהה יותר. כותרת UDP מכילה 8 בתים בלבד (לעומת 20 ב-TCP), והיא כוללת:

א. מבוא יישום המקור (16 סיביות).

ב. מבוא יישום היעד (16 סיביות).

ג. אורך הודעת UDP (16 סיביות).

ד. בדיקת שגיאות של כותרת UDP (16 סיביות).

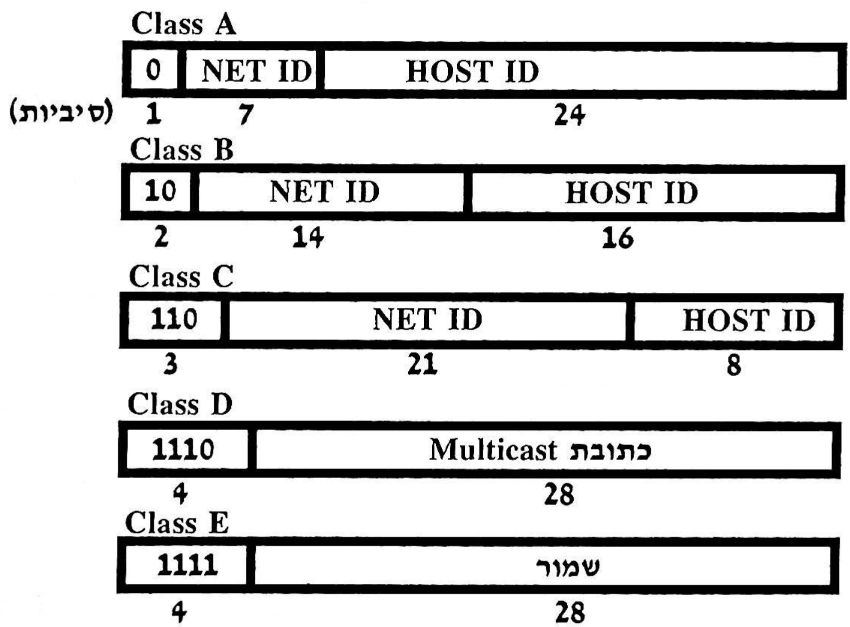
שים-לב ש-UDP אינו מכיל ספרורים ואישורים, ולכן הכותרת שלו יותר קצרה. דוגמה לפרוטוקול המשתמש ב-UDP הוא SNMP (Simple Network Management Protocol), פרוטוקול בקרה הנפוץ ברשתות מקומיות. דוגמה אחרת הוא DNS.

3. כתובות IP

כתובת IP היא בת 32 סיביות, ומורכבת מ-2 חלקים:

- כתובת הרשת, Net ID, הניתנת ע"י רשות מוסמכת.
- כתובת המשתמש, Host ID, הניתנת ע"י מנהל הרשת.

בדרך כלל מציינים את כתובות IP כקבוצה של 4 מספרים שכל-אחד מהם הוא הערך הדצימלי של 8 סיביות, ויכול להגיע עד 255 (לדוגמה: 195.250.130.200). כתובות IP נחלקות ל-5 סוגים, כמתואר בציור 20.4:



ציור 20.4 - מבנה כתובות IP

1. **Class A** - מיועד לרשתות גדולות מאוד (כגון **MILNET**) ומתחיל בסיבית "0". 7 סיביות מוקצות ל-**Net-ID** ו-24 סיביות ל-**Host ID**. כתובות הרשת הן מ-000 עד 127 (בכתיב דצימלי), ובכל רשת יכולים להימצא עד 16.7 מיליון מחשבים.

2. **Class B** - מיועד לרשתות בינונית (כדוגמת קמפוסים) ומתחיל בסיביות "**10**". **Net ID** יכול להיות מ-128.0 ועד 191.255, כלומר 16,384 רשתות, ובכל רשת עד 65,536 מחשבים.

3. **Class C** - מיועד לרשתות קטנות, ומתחיל בסיביות "110". שדה **Net ID** הוא מאוד גדול, ושדה **Host ID** קטן. כתובות הרשת יכולות להיות מ-192.0.0 ועד 223.255.255, כלומר כ-2 מיליון רשתות, ובכל רשת עד 255 מחשבים.

4. **Class D** - מיועד לשידור **Multicast**, כלומר, שידור להרבה תחנות (לדוגמה: עדכון טבלאות ניתוב). המספר הראשון בכתובת **IP** יכול להיות 224 עד 239, או בכתיב בינארי: 1110,0000 עד 1110,1111.

5. **Class E** - שמור לניסויים שונים. המספר הראשון בכתובת **IP** הוא 240 (1111,0000 בינארי) עד 255 (1111,1111 בינארי).

כדי שהנתבים יוכלו לזהות את **Net ID** מתוך מספר **IP**, רושמים בעת תהליך הקונפיגורציה של תחנה (או נתב) בנוסף לכל כתובת **IP** גם "מסיכת רשת" (**Network Mask**), המוגדרת באופן הבא:

Class A - 255.0.0.0 (בכתיב בינארי : 0000 0000 .0000 0000 .0000 0000 .1111 1111)
Class B - 255.255.0.0 (בכתיב בינארי : 0000 0000 .0000 0000 .1111 1111 .1111 1111)
Class C - 255.255.255.0 (בכתיב בינארי: 0000 0000 .1111 1111 .1111 1111 .1111 1111)

בכל **Class** הנתב מזהה את **Net ID** מתוך שרשרת ה-"1" בלבד.

כפי שניתן לראות, יש "בזבוז" גדול של מספרים בשיטה זאת. לדוגמה, ב-**Class B** בכל **Net ID** יש 65,000 מחשבים. ברוב המקרים המספר קטן בהרבה, וכל המספרים שלא נוצלו אינם ניתנים להעברה לרשת אחרת ולמעשה הם מבוזבזים. כדי לשפר את המצב משתמשים בשיטה הנקראת **CIDR (Classless Interdomain Routing)** המתועדת בתקן **RFC 1519**. בהתאם לשיטה זאת, ספק האינטרנט (**ISP**) מקבל בלוק של מספרים ומחלק אותם ללקוחותיו כתת-רשתות.

נניח לדוגמה, שספק האינטרנט קיבל את בלוק המספרים 192.24.0.0 עד 192.31.255.0, הכולל 2048 מספרי רשת **Class C**. כלפי חוץ, כל המספרים האלה ניתנים להגדרה לפי **CIDR** ע"י מספר רשת 192.24.0.0 ו"מסיכה" של 255.248.0.0.

192.24.0.0 = 1100 0000. 0001 1000. 0000 0000. 0000 0000
192.31.255.0 = 1100 0000. 0001 1111. 1111 1111. 0000 0000
255.248.0.0 = 1111 1111. 1111 1000. 0000 0000. 0000 0000

רואים ששרשרת ה-"1" של המסיכה מתאימה לכל Net ID בתחום שנבחר. לכן התחום יכול להיות "מיוצג" ע"י הצירוף של מסי רשת (192.24.0.0) ומסיכה (255.248.0.0).

ספק האינטרנט יכול כעת לחלק את הבלוק שברשותו ללקוחותיו, לדוגמה:

לקוח א' - מקבל 8 מספרי רשת: 192.24.0.0 עד 192.24.7.0 (כ-2000 כתובות), הניתנים להגדרה לפי CIDR ע"י מספר רשת אחד (192.24.0.0) ומסיכה של 255.255.248.0.

לקוח ב' - מקבל 16 מספרי רשת: 192.24.16.0 עד 192.24.31.0 (כ-4000 כתובות), הניתנים להגדרה ע"י מספר רשת 192.24.16.0 ומסיכה 255.255.240.0.

לקוח ג' - מקבל 4 מספרי רשת: 192.24.8.0 עד 192.24.11.0 (כ-1000 כתובות), הניתנים להגדרה ע"י מספר רשת 192.24.8.0 ומסיכה 255.255.248.0

נוכיח את מקרה ב':

192.24.16.0 = 1100 0000. 0001 1000. 0001 0000. 0000 0000
192.24.31.0 = 1100 0000. 0001 1000. 0001 1111. 0000 0000
255.255.240.0 = 1111 1111. 1111 1111. 1111 0000. 0000 0000

ברור שהנתבים חייבים אף הם לתמוך בפרוטוקול CIDR, ואכן שתי החברות הגדולות CISCO ו-Bay תומכות בכך.

כתובות הרשת מסופקות ע"י מרכז מיוחד הנקרא: Internet Network Information Center או InterNIC, ובכל מדינה ע"י גוף מוסמך. בארץ מטפל בחלוקת הכתובות הארגון הבין-אוניברסיטאי מחב"א (למגזר האוניברסיטאי) או ספקי האינטרנט השונים.

הדור הנוכחי של פרוטוקול IP, הנקרא IP גירסה 4 (IPv4), מכיל כאמור לעיל 32 סיביות. קצב ההצטרפות הגבוה לאינטרנט גרם לכך שכתובות IP הולכות ואוזלות, וכבר כיום קשה מאוד להשיג כתובת Class B. פתרון זמני לכך מושג בעזרת שיטת CIDR, אולם פתרון טוב יותר יבוא בגירסה הבאה של IP (IPv6 או IPng) שבה הוקצו 128 סיביות לכתובת IP. גירסה 6 תכלול גם שיפורים נוספים, כגון: אבטחת מידע, תמיכה בוידאו, מולטימדיה, ועוד.

4. כתובות לוגיות

כתובות IP שתוארו בפיסקה הקודמת הן כתובות מספריות המועברות בין הנתבים ברשת. אולם למשתמשים יש מערכת כתובות לוגיות פשוטה ונוחה לשימוש, המתבססת על שמות החברות או שמות האנשים. התרגום בין הכתובות הלוגיות וכתובות IP המספריות נעשה ע"י שרתי DNS (Domain Name Service), המפוזרים ברשת.

הכתובות הלוגיות מתייחסות לארגונים (לצורך גישה לאתרי האינטרנט שלהם) או למשתמשים בודדים (לצורך גישה לתא-הדואר שלהם).

כתובות לוגיות של חברות וארגונים בארה"ב מסתיימות בדרך-כלל בקיצורים הבאים:

com - ארגון מסחרי (חברה)

edu - אוניברסיטה

gov - ארגון ממשלתי

org - ארגון שאינו מסחרי

net - ספק שירותי רשת

בארצות אחרות יש סיומת המתאימה למדינה:

il - ישראל

uk - אנגליה

jp - יפן

tw - טאיון

דוגמאות:

אתר חב' יבמ	http: // www.ibm.com
אתר חב' מיקרוסופט	http: // www.microsoft.com
שרת FTP של חב' מיקרוסופט	ftp:// ftp.microsoft.com

הצרוף HTTP (HyperText Transfer Protocol) מתייחס לפרוטוקול שבו עוברים הנתונים ברשת, ולעיתים נהוג להשמיט אותו. הצרוף www (World Wide Web) מתייחס ליישום, המשתמש בפרוטוקול ההעברה HTTP. ה"שפה" שבה בנויים אתרי האינטרנט נקראת HTML (HyperText Markup Language).

אתרים בארץ:

חב' "רד"	www.rad.co.il
חב' "בינת"	www.bynet.co.il
הכנסת	www.knesset.gov.il
חב' "אינטרנט-זהב"	www.inter.net.il

דוגמאות נוספות:

אתר המספק נתונים על רשת אינטרנט	www.isoc.org
אתר אוניברסיטת סטנפורד	www.stanford.edu
אתר בית חולים "שערי צדק"	www.szmc.org.il

מנועי חיפוש (אתרים המאפשרים למצוא אתרים אחרים):

יאהו	www.yahoo.com
אלטה-ויסטה	www.altavista.digital.com

ליייקוס www.lycos.com
וואלה (בעברית) www.walla.co.il

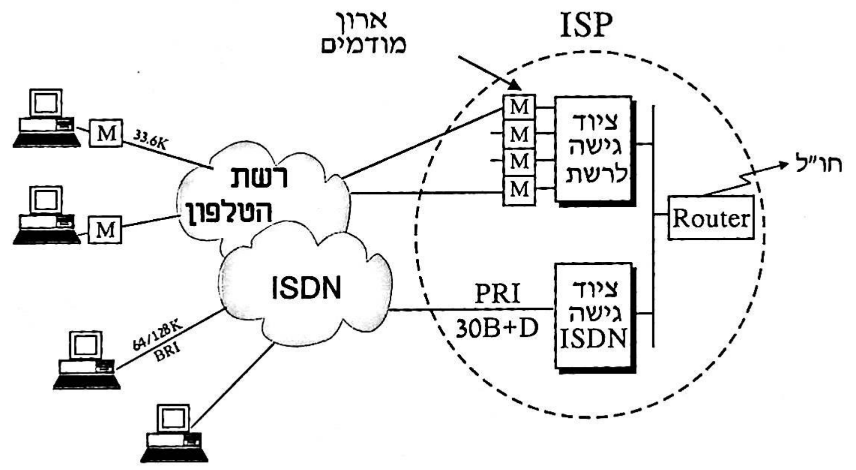
כתובות של תאי-דואר הן צרוף של שם המנוי והארגון:

עמוס שחם ב״אינטרנט-זהב״ amos_sh@inter.net.il
נשיא ארה״ב president@whitehouse.gov

הצירוף user@host מוגדר בפרוטוקול SMTP (RFC 822).

5. גישה לאינטרנט בחיוג

הצורה המקובלת של גישה לאינטרנט למשתמש הביתי (או עסק קטן) היא ע״י חיוג ברשת הטלפון או ISDN, כמתואר בציור 20.5.

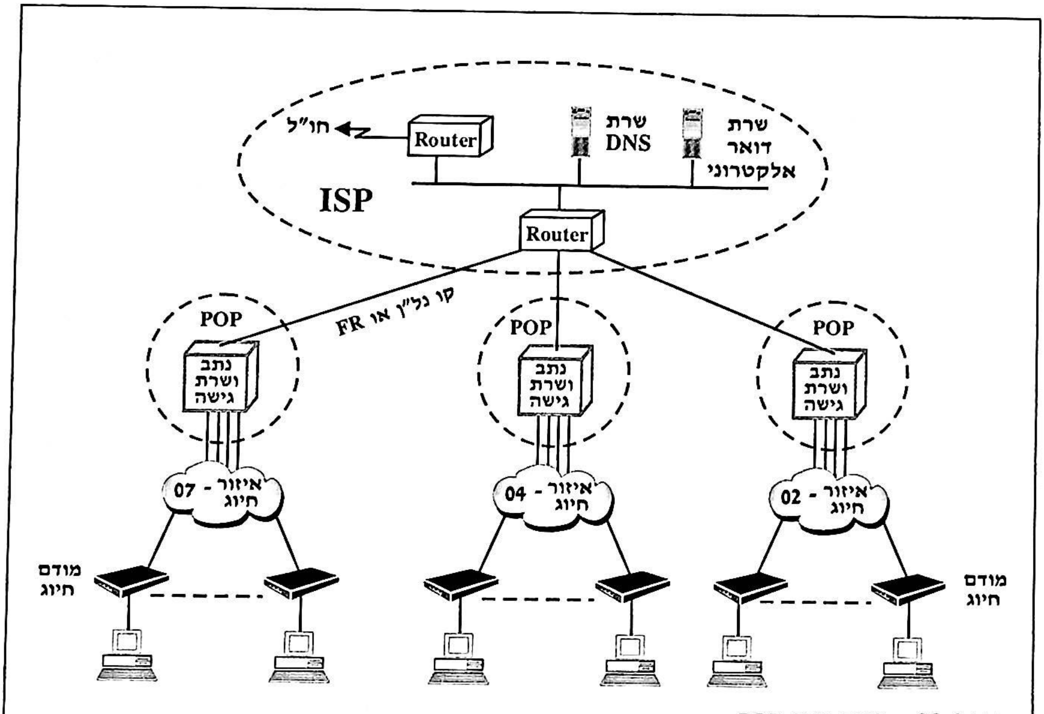


ציור 20.5 - גישה לספק אינטרנט

המשתמש הביתי זקוק לתוכנת גישה, מודם (או מתאם ISDN), ותוכנת דפדוף (Browser) כדי להתחבר לרשת ספק האינטרנט ולהיכנס לאתרים השונים. תוכנת הגישה כוללת מרכיב של TCP/IP וכן פרוטוקול תקשורת בשכבה השנייה התומך ב-TCP/IP.

פרוטוקול התקשורת הראשון שנוצל למטרת גישה לאינטרנט בחיוג היה SLIP (Serial Line Internet Protocol) אולם במשך הזמן הוא הוחלף בפרוטוקול משופר הנקרא PPP (Point-to-Point Protocol). פרוטוקול PPP יכול לפעול גם על קווי חיוג וגם על ISDN, והוא נמצא בשימוש אצל רוב ספקי האינטרנט (ISP).

כדי לכסות את מרבית אזורי החיוג, ולאפשר למשתמשים גישה בחיוג מקומי, ספקי האינטרנט מקימים באזורים שונים מתקני גישה הנקראים POP (Point of Presence). המשתמשים נכנסים ל-POP בחיוג מקומי, ומשם ממשיכים בקו נל"ן (או ברשת FR) לאתר המרכזי של ה-ISP, כמתואר בציור 20.6.

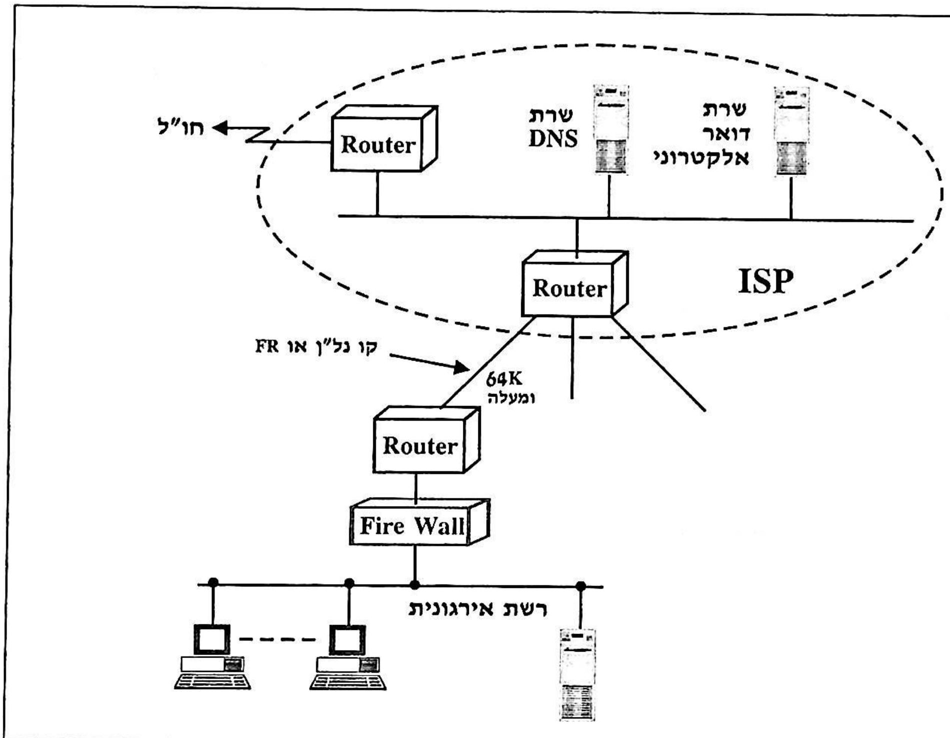


ציור 20.6 - גישה דרך POP

6. גישה קבועה לאינטרנט

חברות וארגונים גדולים, שבהן כמות גדולה של משתמשי אינטרנט, מעדיפים להתחבר באופן קבוע לרשת ולאפשר לעובדיהם גישה ישירה לאינטרנט.

הארגון מתחבר ל-ISP בקו נל"ן (או באמצעות FR) בקצב של 64 קסל"ש ומעלה. על הרשת הארגונית מותקן נתב, המחובר לנתב של ה-ISP, וכל תעבורת האינטרנט עוברת דרכו (ראה ציור 20.7).



ציור 20.7 - גישה קבועה לאינטרנט

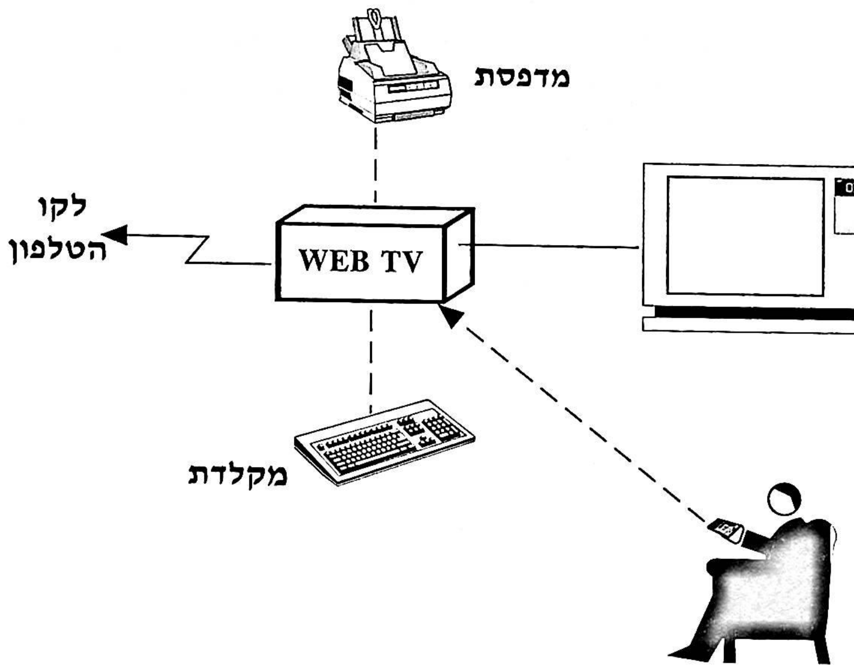
כדי למנוע חדירת גורמים עוינים לרשת הארגונית מקובל להתקין Firewall, המסנן את כל המידע היוצא והנכנס לרשת, ומגן עליה ע"י כך. קיימים בשוק כמה מוצרים טובים, כדוגמת מוצרי רדגארד או ציק-פוינט.

7. אינטרנט בטלויזיה

רשת האינטרנט שהחלה את דרכה לפני כ-30 שנה כרשת אקדמית סגורה, שינתה לחלוטין את פניה וכיום היא רשת פתוחה, הכוללת מידע על כל נושא בעולם. אתרי האינטרנט מתרבים בקצב גבוה, ואין כיום חברה, או ארגון המכבד את עצמו, שאין לו אתר באינטרנט. חברות מסחריות מפרסמות באינטרנט את שירותיהן ומוצריהן, אוניברסיטאות מפרסמות עבודות מדעיות, גופי התקינה מפרסמים תקנים, וכן אפשר למצוא ברשת אתרי נסיעות ותיירות, מזג-אוויר, בנקאות, ספרים, עתונים ועוד ועוד.

מהפיכת האינטרנט הגיעה גם לתחום הבידור, ואפשר לראות באינטרנט סרטים וקליפים, לשמוע מוסיקה מסוגים שונים, לערוך ביקורים וירטואליים במקומות שונים בעולם, לשמוע חדשות, לדבר בטלפון, וגם לנהל שיחת ודיאו בזמן אמיתי.

אולם, עדין קיימת אוכלוסיה שהשימוש ב-PC זר לה, והגישה למקלדת ולעכבר מרתיעים אותה. לטובת אוכלוסיה זו פותח מכשיר מיוחד הנקרא WEB TV, או "סורק טלויזיה", המתחבר כמתואר בציור 20.8.



ציור 20.8 - WEB TV

ה-WEB TV מכיל מודם פנימי בקצב 33.6 קסל"ש המתחבר ישירות לקו הטלפון, ובצידו השני הוא מתחבר למבוא הטלויזיה. הוא מופעל בעזרת שלט-רחוק, מחייג אל ספק האינטרנט (ISP), מבצע באופן אוטומטי את כל הפעולות הנדרשות ומתחבר לרשת האינטרנט. תצוגת האינטרנט מופיעה על מסך הטלויזיה הביתית, והשלט-רחוק מחליף את העכבר. כל פעולות השיטוט באינטרנט מתבצעות בעזרת השלט-רחוק, וקיימת גם אופציה לחיבור מקלדת ומדפסת.

ה-WEB TV מביא את האינטרנט לסלון הבית, והפעלתו קלה ופשוטה. פותחו גם אתרים המתאימים במיוחד לטכנולוגיה זו, מבחינת הרזולוציה, צורת וגודל האותיות וכו', מכיוון שמסך הטלויזיה אינו בעל אותן התכונות כמו מסך ה-PC (SVGA בדרך כלל). קיימות גם הכרזות של מספר חברות לפתח PC/TV, כלומר מוצר המשלב את תכונות ה-PC והטלויזיה הביתית, וכן יצאו לשוק גם טלויזיות הכוללות בתוכן את פונקצית ה-WEB TV.

אנו רואים, אם כן, ששני העולמות שהיו עד כה רחוקים וזרים זה לזה (ה-PC והטלויזיה), מתקרבים ואף מתמזגים ליחידה אחת. זהו אחד מתוך הרבה שינויים שמביא האינטרנט לשיגרת חיינו.

8. אינטרה-נט

מהפכה נוספת שמביא האינטרנט, היא הטמעת כלי האינטרנט - השרתים, הדפדפנים (Browsers), הפרוטוקולים (HTTL, HTML), ממשקי הפיתוח (JAVA), וכו' - בתוך סביבת המיחשוב בארגון. לסביבת המיחשוב החדשה קוראים אינטרה-נט (Intranet), ובעצם היא אינטרנט פנים-ארגוני. לדוגמה, בסיס הנתונים של הארגון יותאם לשרת אינטרה-נט, והגישה אליו תבוצע ע"י דפדפן, בדיוק כפי שמבצעים שיטוט באינטרנט כיום.

התהליך הזה יתן תנופה נוספת לפרוטוקולי TCP/IP, על חשבון הפרוטוקולים האחרים (כגון: SNA, IPX, OSI ועוד). כבר היום תוכנת הדפדוף משולבת בתוכנת ההפעלה (WIN 95), כך שהתפתחות רשתות אינטרה-נט נראית ודאית. התהליך הזה יביא לכמה תוצאות לוואי:

- הגדלת התנועה ברשתות המקומיות, והפיכתן לרשתות ממותגות (אתרנט מהיר או ATM).
- הרחבת השימוש בגישה מרחוק (Remote Access).
- הכנסת אמצעי הגנה לרשתות (כגון Fire Wall, הצפנה, בקרת-גישה ועוד).
- הרחבת הפרסום, הקטלוג והסחר האלקטרוני ברשתות.
- כניסה לשימוש של מחשבי - רשת (Network Computers), המקטינים בהרבה את עלויות האחזקה, התפעול והשידרוג של המיחשוב. מחשבי הרשת יהיו מסוג NC (בתמיכת סאן ואורקל), או מסוג NetPC (בתמיכת מיקרוסופט, אינטל, יבמ, קומפאק, HP ואחרים). הרעיון הוא לתת כלי עבודה זול לייצור, ניהול או תחזוקה בארגון, ולהוזיל את העלות הכוללת של מערך המחשוב הארגוני.

9. סיכום פרק ב'

בפרק זה הכרנו את רשת האינטרנט, שהחלה לפני כ-30 שנה כרשת אקדמאית קטנה סגורה, והפכה במהלך השנים לרשת ענקית חובקת עולם, בעלת אלפי אתרים ומיליוני משתמשים.

הרשת משתמשת בארכיטקטורת פרוטוקולי TCP/IP, שהתפתחו אף הם במשך השנים. פרוטוקול הניתוב הבסיסי הוא IP, המותקן בכל תחנה וכל נתב ברשת. לכל תחנה (וכל אלמנט אחר) ברשת מוקצה מספר IP (הנקרא Host ID), וכן יש הקצאה לרשת (Net Id). הכרנו את המבנה העקרוני של מספרי IP בגירסה הנוכחית (IPv4), ואת חלוקתם ל-Classes.

הביקוש הגדול למספרי IP בשנים האחרונות גרם למחסור, וכתוצאה מכך פותחה שיטת CIDR, המשפרת את נצילות הקצאת המספרים ומקטינה את גודל טבלאות הניתוב בנתבים. לטווח הרחוק הבעיה תיפתר

ע"י גירסת IP הבאה (IPv6), שבה מוקצות 128 סיביות לכל כתובת IP (במקום 32 סיביות כיום).

הגישה לרשת האינטרנט יכולה להיות בחיוג (טלפון או ISDN) למשתמש הביתי, בקו נל"ין או ברשת FR (לחברות וארגונים). ספק האינטרנט (ISP) מתקין אתרי גישה מיוחדים, הנקראים POP, והלקוחות מגיעים אליהם בשיחה מקומית.

מהפיכת האינטרנט הגיעה גם לתחום הבידור והפכה את הטלויזיה הביתית לאמצעי צפייה. ה-WEB TV מתאם בין הטלויזיה לבין רשת האינטרנט, כך שאפשר לשוטט באינטרנט גם בישיבה בסלון.

האינטרה-נט הוא אינטרנט פנים ארגוני, המנצל שיטות וכלים של אינטרנט בתוך סביבת המיחשוב בארגון. בסיסי הנתונים של הארגון מוסבים לעבודה באינטרה-נט והגישה אליהם מבוצעת ע"י דפדפנים (Browsers), תוך ניצול השיפורים הטכנולוגיים של ממשק גרפי וידידותי, קישור רחב ומהיר בין משתמשים ושרתים, ותלות מינימלית בסוג פלטפורמת החומרה ומערכת ההפעלה.

אינדקס
(לפי א'-ב' אנגלי)

ביבליוגרפיה

א. ספרים טכניים

1. Telecommunications Technology Handbook , D. Minoli ,
   Artech House (1991) , ISBN 0-89006-425-3
2. LAN, ATM, and LAN Emulation Technologies , D. Minoli, A. Alles,
   Artech House (1996) , ISBN 0-89006-916-6
3. Frame Relay Networks , U. Black,
   McGraw-Hill (1996) , ISBN 0-07-005590-4
4. Emerging Communications Technologies , U. Black
   PTR Prentice Hall (1994) , ISBN 0-13-051500-0
5. ATM - Theory and Application , D. E. McDysan , D.L. Spohn
   McGraw-Hill (1995) , ISBN 0-07-060362-6
6. LAN Communications Handbook , F. Simonds ,
   McGraw-Hill (1994) , ISBN 0-07-057442-1
7. High - Speed LAN Handbook , S. Saunders ,
   McGraw- Hill (1996) , ISBN 0-07-057199-6
8. Total Area Networking , J. Atkins, M. Norris ,
   John Wiley & Sons (1995) , ISBN 0-471-95480-2
9. Fast Ethernet , H. W. Jonson ,
   PTR Prentice Hall (1996) , ISBN 0-13-352643-7
10. Switched and Fast Ethernet , R. Breyer, S. Riley,
    Ziff-Davis Press (1995) , ISBN 1-56276-338-5
11. Asynchronous Transfer Mode , M. de Prycker ,
    Prentice Hall (1995) , ISBN 0-13-342171-6
12. LAN TIMES Encyclopedia of Networking , T. Sheldon ,
    McGraw-Hill (1994) , ISBN 0-07-881965-2
13. Networking Essentials , Microsoft Press (1996) ,ISBN 1-55615-806-8
14. Internetworking , M.A. Miller ,
    M&T Books (1995) , ISBN 1-55851-436-8

ב. אתרי אינטרנט

- עיתוני תקשורת

Data Communications International	www.data.com
Data Communications USA	www.datacomm-us.com
LAN Times	www.lantimes.com
Tele.Com	www.teledotcom.com
Communications Week International	www.emap.com/cwi
Network	www.network-mag.com
Total Telecom	www.totaltele.com
PC Magazine	www.pcmag.com
Byte Magazine	www.byte.com

- ארגוני תקינה

IEEE	www.ieee.org
ISO	www.iso.ch
IETF	www.ietf.org
ITU	www.itu.ch
ATM Forum	www.atmforum.com
FR Forum	www.frforum.com
Fast Ethernet	www.iol.unh.edu/consortiums/fe

- אתרים מקצועים כלליים

מאמרים מקצועיים	www.techguide.com
ספרים טכניים	www.computing.mcgraw-hill.com
חברת יעוץ	www.snci.com
בדיקת מוצרי תקשורת	www.tolly.com
מאמרים מקצועים	www.iol.unh.edu/training/index.html

- אתרים מתמחים

טבעת אסימון	www.astral.org
אתרנט	wwwhost.ots.utexas.edu/ethernet
גיגה - אתרנט	www.gigabit-ethernet.org
מודמים	www.nb.rockwell.com
ATM	cell-relay.indiana.edu

תקשורת ומחשוב

טכנולוגיות התקשורת והמחשוב מתפתחות כיום בקצב מסחרר, ו"שוברות שיאים", ממש כמו באולימפיאדה. טכנולוגיית האתרנט, שהחלה לפני כ- 20 שנה בקצב של 10 מסל"ש, הגיעה כבר ל-100 מסל"ש, ובקרוב מאד תעלה ל-1000 מסל"ש. הרשתות המרחביות הפכו לסיפרתיות מקצה לקצה, ושולבו בהן טכנולוגיות חדשות כמו ISDN, Frame Relay ולאחרונה גם ATM. סיבים אופטיים הפכו לתשתית סטנדרטית בין אתרים מרוחקים, והמידע מועבר עליהם בטכנולוגיות מתקדמות של SDH ו-WDM.

ספר זה מתאר את האבולוציה של מערכות התקשורת והמחשוב, עד הטכנולוגיות העדכניות של ימינו. החומר מוצג בצורה ברורה ומובנת, וכולל שפע של ציורים עם כיתוביות בעברית, אינדקס מפורט וביבליוגרפיה נרחבת.

הספר נכתב ע"י צבי שחם, בעל נסיון של למעלה מ-30 שנה בתחומי התקשורת השונים, ומעורבות בפרוייקטי תקשורת רבים.

בינת
תקשורת מחשבים בע"מ